



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО НЕВРОБИОЛОГИЯ

Мария Альошева Ганева

**АДАПТАЦИОННИ ПРОМЕНИ В СИЛОВИЯ
ПРОФИЛ НА ЕКСТЕНЗОРИ И ФЛЕКСОРИ НА
КОЛЯННА СТАВА ПРИ ФУТБОЛИСТИ**

АВТОРЕФЕРАТ

На дисертационен труд за присъждане на образователна и
научна степен „Доктор” по професионално направление

4.3 Биологически науки с научна специалност

“Физиология на животните и човека”

Научни ръководители:

Проф. д-р Невена Стоянова Пенчева

Доц. д-р Катерина Илионова Стамболиева

София, 2025

Дисертационният труд е написан на стандартни 187 машинописни страници, онагледен е с 9 таблици и 37 фигури. Библиографията включва 284 литературни източници, от които 14 на кирилица и 270 на латиница.

Дисертационният труд е обсъден на разширен научен семинар на направления „Когнитивна психофизиология“ и „Сензорна невробиология“ при Институт по невробиология, БАН, състоял се на 18.07.2025г. и е насочен към публична защита пред научно жури в състав:

Чл.кор. проф. Андон Косев, дбн – ИБФБМИ, БАН

Проф. Вихрен Бачев, дн – НСА „Васил Левски“

Проф. д-р Рени Калфин– ИНБ, БАН

Проф. д-р Васил Колев– ИНБ, БАН

Доц. д-р Милена Николова - НСА „Васил Левски“

Публичната защита на дисертационния труд ще се проведе на от часа в сградата на Институт по невробиология, БАН, ул. Акад. Г. Бончев бл.23, София.

Материалите по защитата на дисертационния труд са на разположение в АИЦН на Институт по невробиология, както и на сайта на института: <https://inb.bas.bg/>.

Съдържание

1. Въведение	5
2. Хипотеза, цел и задачи	7
3. Методи	9
4. Резултати.....	17
4.1. Антропометрични показатели	17
4.2. Изометричен силов профил на екстензори и флексори на колянна става.....	20
4.3. Динамичен силов профил на екстензори и флексори на колянна става.....	26
4.4. Времеви показатели: време за достигане на пиков въртящ момент и време за ускорение	31
4.5. Оценка на мускулен дисбаланс и степен на динамичен контрол чрез коефициенти за унилатерална асиметрия между флексори и екстензори.....	43
5. Обсъждане на получените резултати	45
6. Заключение	55
7. Изводи и приноси.....	56
8. Публикации и участия в научни форуми по темата на дисертацията.....	59

Използвани съкращения и пояснения към тях

НА КИРИЛИЦА:

ИТМ - индекс на телесната маса

К-БА-ексц - коефициент за билатерална асиметрия при
ексцентрични съкращения

К-БА-изом - коефициент за билатерална асиметрия при
изометрични съкращения

К-БА-конц - коефициент за билатерална асиметрия при
концентрични съкращения

К-УА-конц - коефициент за унилатерална асиметрия при
концентрични съкращения

МТ - максимален въртящ момент

ОК - опорен крак

ПТ - пиков въртящ момент

РК - ритащ крак

ФКДК - функционален коефициент за динамичен контрол

НА ЛАТИНИЦА:

H/Q – Hamstrings/Quadriceps ratio

SD – standard deviation

SEM – standard error of mean

TPT – Time to Peak torque

1. Въведение

Футболът представлява асиметричен спорт, поради неравномерното участие на крайниците и страните на тялото при специфичните за този спорт двигателни задачи. При системно и продължително практикуване, възникват адаптационни промени в силата и функционалността на долните крайници, вследствие на повтарящите се движения, извършвани предимно с един крайник, като удари към вратата, пасиране, отскоци и рязка смяна на посоката на движение. Това предпочитано използване на един и същи крак при различни двигателни ситуации, позволява разграничаването на двата крака като ритач (РК) и опорен (ОК). В резултат РК развива сила и прецизност, а ОК се специализира повече в поддържане на стабилност, координация и баланс. Доминираща в тази специализация е бедрената мускулатура, която контролира движенията в колянната става. Настоящият дисертационен труд изследва тези промени, като се фокусира върху адаптациите, наблюдавани в мускулите екстензори и флексори на коляното при професионални футболисти, в контекста на мускулната сила и нейната изява при контролирани условия на тестване, чрез изокинетична динамометрия.

Симетричността или асиметричността в човешкото тяло се определя от множество фактори, от една страна влияние оказват генотипните заложи, от друга - фенотипните промени, повлияни от начина на живот. Дадени типове физическо натоварване водят до увеличаване на мускулната асиметрия, докато други до увеличаване на симетрията. В настоящата работа една от основните задачи е установяването на промени в степента

на асиметрия в мускулната сила на екстензорите и флексорите на колянната става, при професионалните футболисти. Възникналите адаптации в силата могат да представляват потенциални дисбаланси и предпоставки към травми на долните крайници, както и да бъдат причина за недобро или неефективно представяне на футболиста на терена.

Настоящата тематика е актуална във връзка с по-дълбокото разбиране на влиянието на спортните дисциплини с асиметричен характер върху мускулатурата на спортистите. Подбраната методика за тестване на екстензорите и флексорите на коляното, осигуряваща различни режими на натоварване (изометричен при различни ъглови позиции от обема на движение, концентричен и ексцентричен в широка гама от скорости), генерира данни за въртящ момент, коефициенти за унилатерална и билатерална асиметрия, въртящ момент-ъгъл и въртящ момент-скорост зависимости и др. Сравнителният анализ на тези данни с нетренирани лица позволява: да се формулират адаптационните изменения при двете мускулни групи, свързани с промени във въртящия момент и в оптималната дължина на мускулните влакна; да се прецизира обхватът на показателите за рискована силова асиметрия, като критерии за силови дисбаланси при изследваните футболисти; да се дадат насоки за рутинно определяне на силови дисбаланси и препоръки за конкретен обхват от ъглови позиции при двете мускулни групи.

Изследването на адаптационните промени в силата на бедрената мускулатура, при професионални футболисти, представлява значим научен интерес, тъй като

обединява аспекти на спортната физиология, превенцията на травми и оптимизацията на спортните постижения. Установяването на адаптационните изменения в силовите характеристики на флексорите и екстензорите на колянната става може да послужи като основа за бъдещи изследвания, насочени към идентифициране на подлежащите невро-мускулни, структурни и биомеханични механизми на адаптация в мускулатурата на долните крайници при футболисти, в контекста на специфичното натоварване и функционалната асиметрия, характерни за спорта.

2. Хипотеза, цел и задачи

Хипотезата на настоящото изследване е, че асиметричните натоварвания при професионални футболисти с продължителен тренировъчен стаж, водят до специфични за двата крака адаптационни изменения в силовите характеристики на екстензорите и флексорите на колянната става.

Целта на настоящия дисертационен труд е сравнително проучване на силовия профил на ритач и опорен крак, за оценка на адаптационни промени при професионални футболисти, чрез провеждане на широкообхватно изследване с изокинетична динамометрия на екстензори и флексори на коляно, при: различни режими на натоварване, генериране на въртящ момент-ъгъл и въртящ момент-скорост зависимости, и изчисляване на коефициенти за унилатерална и билатерална силова асиметрия.

За целта бяха формулирани следните задачи:

1. Сформиране на експериментални групи – футболисти и нетренирани лица, получаване на разрешение от Комисията по етика на научните изследвания, подписване на информирано съгласие с изследваните лица и създаване на график за посещение на лицата в лабораторията на Центъра за функционални изследвания в спорта и кинезитерапията.

2. Разработване на протоколи за тестване на екстензори и флексори на коляно в изометричен, концентричен и ексцентричен режим, за изокINETИЧЕН динамометър Biodex 4 Pro.

3. Провеждане на антропометрични измервания с биоимпеданс анализатор от висок клас, при двете експериментални групи.

4. Провеждане на широкообхватни динамометрични измервания в трите режима на натоварване, при ритач и опорен крак, при двете изследвани групи.

5. Извличане на антропометрични данни за мастната маса (kg и %) и за общата мускулна маса (kg и %) и динамометрични данни: за пиков въртящ момент (Nm; Nm/kg), време за достигане на пиков въртящ момент (ms), време за ускорение (ms). Генериране на въртящ момент-ъгъл и въртящ момент-скорост зависимости, при футболисти и нетренирани лица. Изчисляване на коефициенти за унилатерална и билатерална асиметрия.

6. Статистически анализ на пиковия въртящ момент при трите режима на натоварване, между футболисти и

нетренирани лица и между ритач и опорен крак; анализ на въртящ момент-ъгъл и въртящ момент-скорост зависимости, с отчитане на билатералната силова асиметрия при двете групи изследвани лица; анализ на времевите показатели и оценка мускулен дисбаланс, и степен на динамичен контрол, чрез коефициенти за унилатерална асиметрия.

3. Методи

Експериментите от настоящия дисертационен труд са извършени от октомври 2018 година до юли 2019 в Центъра за функционални изследвания в спорта и кинезитерапията към ЮЗУ „Неофит Рилски”, град Благоевград.

Изследваните лица са 32-ма души, от които 20 професионални футболисти и 12 нетренирани лица.

3.1 Антропометрия и параметри на телесната маса

Параметрите на телесна маса са определени с биоимпеданс анализатор на състава на телесната маса, модел IoI 353, South Korea. Определени са показателите: мастна маса (kg), мастна маса (%), обща мускулна маса (kg), обща мускулна маса (%). Измерени са и основни антропометрични показатели - ръст и тегло с везна – ръстомер на фирма KERN, Germany, ниво на точност 0.1 kg и 0.1–0.2 cm.

3.2. Изокинетична динамометрия

За измерването на силовите характеристики на екстензори и флексори в колянна става, е приложена изокинетична динамометрия, като метод за обективно и прецизно измерване на мускулна сила при предварително

зададена и контролирана ъглова скорост на движение. В работния протокол са включени измервания на силови характеристики в изометричен, концентричен и ексцентричен режим на мускулни съкращения, извършени с изокинетичен динамометър Biodex System 4 Pro, USA.

Измерванията, при трите типа мускулни съкращения, се извършват от лицата в различни дни, за да се избегне претоварване на мускулатурата, участваща в тестването. Динамометричното тестване се предхожда от натоварване с велоергометър, при съпротивление от 50 W и скорост от 60 оборота/min, с продължителност 3-5 min.

За определяне на статичната и динамичната сила, при футболисти и нетренирани лица, в настоящото изследване са изготвени изометричен протокол за динамометрично тестване на двете експериментални групи и два изокинетични протокола за концентрично и ексцентрично тестване.

При изометричното изследване протоколът включва 8 ъглови позиции, които регистрират мускулната сила при различна дължина на участващите в движението мускули: 20, 40, 60, 70, 80, 90, 100 и 110°. Позициите се изпълняват в рандомизирана последователност.

При избран ъгъл в колянната става, изокинетичният динамометър позиционира крайника на съответните градуси. След което лицето упражнява усилие в посока екстензия, при фиксирана приставка (изометрична контракция). Усилието се поддържа 3 секунди, след което лицето отпуска бедрената мускулатура за период от 7 секунди. Периодът на почивка е последван от 3 секунди усилие в посока флексия и отново почивка. Изпълняват се по 2 цикъла мускулни контракции на екстензорите и

флексорите. Следва едноминутна почивка и се преминава към следваща ъглова позиция. Тестовете се прилагат на десен и на ляв крак.

Протоколите на динамометрията в концентричен и ексцентричен режим включват 6 ълови скорости, които са в диапазона на бавните, умерените и бързите скорости (бавна – между $2^{\circ}/s$ - $180^{\circ}/s$, при нея се тестват и тренират силовите качества; умерена – между $180^{\circ}/s$ - $240^{\circ}/s$, при нея се тества и тренира бързина; висока – между $300^{\circ}/s$ - $500^{\circ}/s$, при нея се тества и тренира издръжливост) за оценка на въртящия момент при различни спортни ситуации: 60, 90, 120, 180, 240 и $300^{\circ}/s$. Те се изпълняват последователно, от най-ниската към най-високата скорост. Почивката между скоростите е 90 s.

При всяка скорост от концентричния режим лицето извършва два цикъла на екстензия и флексия, като спазва условията: движенията да са съпроводени с генериране на максимална сила, да следват позволената скорост на движение и да обхващат целият зададен обем на движение. При концентричния протокол мускулатурата, извършваща флексия и екстензия в коляното работи в преодоляващ режим. Усилието, което лицето извършва, намалява с нарастване на скоростта. Изпълнението на концентричния протокол, за всяка скорост, започва от флексия в коляното от 100° .

При всяка скорост от ексцентричния протокол лицето извършва два цикъла на флексия и екстензия в коляното, при което мускулите на коляното противодействат на силата, която динамометърът генерирана и дозира, според зададената ъглова скорост. При ексцентричния протокол мускулатурата, която

извършва флексия и екстензия в коляното работи в отстъпващ режим. В този режим динамометърът реагира на въртящия момент, упражняван от лицето, като се движи в посока, противоположна на приложения въртящ момент. Усилието, което лицето извършва, нараства с нарастване на скоростта.

Основен показател, чрез който се представят резултатите от изокинетичната динамометрия, е стойността на пиковия въртящ момент (ПТ). При изометричното измерване той се определя при всяка тествана ъглова позиция и е резултат от максимална волева мускулна контракция. При изометричното тестване важен показател е и максималният въртящ момент (МТ).

МТ представлява абсолютния максимален въртящ момент, който даден мускул или мускулна група може да произведе при оптимални условия, обикновено по време на максимална волева контракция, при оптимална изходна дължина на мускулите. Този термин се използва, за да опише най-високата постигната сила, независимо от позицията или скоростта.. Следователно, пиковият въртящ момент е специфичен за даден ъгъл или фаза в рамките на движението, докато максималният въртящ момент е най-високата сила, постижима от мускула при оптимални тестови условия. В изометричния протокол се разглеждат както пиковите стойности на въртящия момент, така и максималните. Въртящият момент е представен в Nm и Nm/kg.

3.3. Обработка и анализ на експерименталните данни

От експерименталната част на това изследване, бяха генерирани: данни за антропометричните

характеристики и показателите на телесната маса; стойности на пиковия въртящ момент (Nm) при три режима на мускулни съкращения: изометричен, концентричен и ексцентричен, при футболисти и нетренирани; времеви характеристики – време за ускорение и време за достигане на пиков въртящ момент, при концентрични и ексцентрични измервания.

Дескриптивна статистика

За да се оцени честотното разпределение, при генерираните данни, е приложена дескриптивна статистика: изчисляване на средни величини, стандартно отклонение и вариационен коефициент. Много от параметрите са представени като средни величини $\pm$ стандартно отклонение (SD) или средни величини $\pm$ стандартна грешка на средната стойност (SEM). SD е използван за отчитане на променливостта на данните, при представяне на дескриптивната статистика, докато SEM е използван за посочване на прецизността на средната стойност на извадката като оценка на средната популация, при графичното представяне на данните, чрез моделиране на криви, където фокусът е върху сравняване на средните, а не върху променливостта на отделните данни.

Сравняване на средни стойности (дисперсионен анализ)

Извършени са тестове за оценка на различия между средни стойности при зависими и независими извадки, за оценка на хипотези с непараметрична статистика, при извадки, които не следват нормално разпределение: -Mann-Whitney тест за сравняване на данни при 2 независими извадки;

-Kruskal_Wallis ANOVA при сравняване на средни стойности при повече от 2 независими извадки и последващ Dunss multiple comparison test.

При извадките с нормално разпределение са използвани тестове от параметрична статистика:

- One-way ANOVA и последващ post-hoc тест - Bonferroni's multiple comparison test;

Генериране на криви въртящ момент-ъгъл и въртящ момент-скорост

Моделирането на криви е математически подход, който е използван в настоящата работа за представяне на връзката между въртящия момент, генериран от мускул (мускулна група), и ъгъла на ставата по време на активност или скоростта на движение в ставата. Моделирането на криви помага за визуализация и количествено представяне и оценка на биомеханичните промените в мускулната сила, при различни ставни ъгли или скорости. Техниката на моделирането представлява напасване на крива, като се използват различни статистически модели за точно представяне на данните. Въртящ момент-ъгъл кривата отразява връзката между въртящия момент и ъгъла и показва оптималния ъгъл, при който се достига пик на въртящия момент, както и общата форма на генерирания въртящ момент при различни ъгли. Зависимостите въртящ момент-ъгъл при екстензорите са генерирани чрез средни стойности на ПТ и SEM, с използване на полином от четвърта степен, установен като подходящ при предходни изследвания (Kanelov et al., 2016; Mavrevski, 2014; Milanov et al., 2018). Кривите при флексорите са генерирани с полином от трета степен. Точното моделиране на връзката

въртящ момент–ъгъл изисква отчитане на индивидуалните различия (като дължина на мускулите, сила и еластичност), както и специфични за ставата фактори като лостово рамо и стабилност, които могат да повлияят върху производството на въртящ момент. Във връзка с наличието на такива особености, са генерирани индивидуални въртящ момент–ъгъл криви за всяко от изследваните лица, чрез прилагане на нелинеен регресионен анализ на стойностите на изометричния пиков въртящ момент и ъгловата позиция в коляното, при която е измерен, с използването на рационални функции за екстензорите и полином от трета степен за флексорите. Въртящ момент–скорост зависимостите на екстензорите в концентричен режим са генерирани с използването на Болцманова сигмоида, а за флексорите полином от четвърта степен. При генериране на криви въртящ момент - ъгъл от ексцентрични съкращения, са използвани също полиноми от четвърта степен, както за екстензорите, така и за флексорите. При сравняване на полиноми от различни степени и рационални функции са използвани тези, които са подходящи за моделиране на данните на всяко от лицата. Това се потвърждаваше чрез стойностите на коефициента на детерминация R^2 , който трябваше да бъде между 0.97 и 1.0

Изчисляване на коефициенти за асиметрия

В настоящите изследвания бяха изчислени 4 коефициента за определяне на степента на силова асиметрия, в колянната става, на РК и ОК:

(1) Коефициент за билатерална асиметрия при изометрично тестване (К-БА-изом). Той се изчислява като отношение между пиковия въртящ момент (Nm) на

екстензорите на РК и ОК и аналогично между флексорите на двата крака и оценява статичната стабилност. К-БА-изом е изчислена в позициите от 20 до 110°.

(2) Коефициенти за билатерална асиметрия при концентрични контракции (К-БА-конц) и при ексцентрични (К-БА-ексц). Те са отношение между пиковия въртящ момент (Nm) на екстензорите на ОК и РК или между пиков въртящ момент (Nm) на флексорите на единия спрямо другия крак и при футболисти оценява динамична стабилност при различни елементи във футболната игра като стрелба във вратата, точност при подаване, дриблиране и др. К-БА-конц е изчислен при скоростите: 60, 90, 120, 180, 240 и 300°/s. К-БА-ексц е изчислен при същите шест скорости, но в отстъпващ режим.

Както при изометричните контракции, така и при концентричните и ексцентричните, коефициентите за силова асиметрия се изчисляват в проценти по формулата:

$$\frac{(\text{ПТ}_{\text{по-силен крак}} - \text{ПТ}_{\text{по-слаб крак}})}{\text{ПТ}_{\text{по-силен крак}}} \times 100$$

, където ПТ е пиков въртящ момент в Nm.

(3), Коефициент за унилатерална асиметрия при концентрични контракции (К-УА-конц), който определя дисбаланса в рамките на един крайник. Представява процентно отношение между пиковия въртящ момент на флексорите към пиковия въртящ момент на екстензорите, измерен при концентрични съкращения. Изчислява се за РК и за ОК. В литературата К-УА-конц се представя и като Н/Q коефициент (hamstrings/quadriceps) К-УА-конц е изчислен при 60, 180 и 300°/s, а нормата му е 62, 72 и 78 %,

съответно. При К-УА-конц 10 % толеранс се счита за допустим диапазон.

(4) Функционален коефициент за динамичен контрол (ФКДК). При наличие на данни за силата на мускулните групи в концентричен и ексцентричен режим на съкращение, е възможно прилагането и на коефициент за унилатерална асиметрия, като отношение на пиковия въртящ момент на флексорите на коляното в ексцентричен режим, към този на екстензорите в концентричен. ФКДК има нормативни стойности между 0.9-1.3 Коефициентът е изчислен при 60, 180 и 300°/s.

Корелационен анализ

Корелационен анализ с коефициент на Pearson за оценка на зависимост между пиковия въртящ момент от 8-те позиции на стават при изометрични съкращения с антропометричните показатели.

Софтуерни програми

За обработка на експерименталните данни и тяхното представяне бяха използвани: статистически пакет Graphpad Prism (Ver. 3); софтуерна програма Microsoft Excel; online калкулатор за определяне на разпределение на данните <https://contchart.com/goodness-of-fit.aspx>

4. Резултати

4.1. Антропометрични показатели

Антропометричните данни и параметрите на телесна маса, измерени при футболисти, са показатели, които имат отношение към следните аспекти, свързани с темата на настоящата разработка: - съществува ли дадена специфика

на антропометричния профил на изследваните футболисти в сравнение с групата на нетренираните лица; и - доколко силовите характеристики на мускулните групи на коляното и коефициентите за асиметрия, корелират с антропометрични данни на изследваните лица.

На Таблица 1 са представени антропометричните характеристики и показатели на телесната маса на групата на футболистите и тези на нетренираните лица, регистрирани чрез импеданс анализатор.

Групата на футболистите се състои от 20 души на възраст 23 ± 5 години, с ръст 1.79 ± 0.05 m и тегло 75 ± 7 kg, а тази на нетренираните лица от 12, на възраст 26 ± 7 години, с ръст 1.77 ± 0.09 m и тегло 78 ± 10 kg. В изследваните групи участват предимно лица с ритач десен крак. Изключение правят три лица с ритач ляв крак от футболистите, а в групата на нетренираните лица - двама.

Средните стойности на антропометричните показатели при футболистите не се различават достоверно от тези при нетренираните, с изключение на показателите: мастна маса (kg) и мастна маса на ОК, които при футболистите са достоверно по-ниски, в сравнение с мастната маса и мастната маса на ОК на нетренираните. Също така общата мускулна маса (%), е достоверно по-висока при футболистите ($p < 0,05$; Mann Whitney тест). Хомогенността на двете групи е при повечето изследвани показатели: възраст, ръст, тегло, мастна маса (%) и обща мускулна маса (kg).

Таблица 1. Антропометрични показатели и параметри на телесната маса при футболисти и нетренирани лица.

Антропометрия и параметри на телесната маса			
При футболисти	X ср. $\pm$ SD	V%	95% доверителен интервал
Възраст (години)	23 $\pm$ 5	22.1	20.84-25.66
Ръст (m)	1.79 $\pm$ 0.05	2.9	1.76-1.81
Тегло (kg)	75 $\pm$ 7	8.9	72.04-78.29
ИТМ (kg/m ²)	23.5 $\pm$ 2.0	8.4	22.60-24.43
Мастна маса (kg)	13.5 $\pm$ 3.5*	25.9	11.88-15.16
Мастна маса (%)	17.9 $\pm$ 3.3	18.6	16.26-19.37
Обща мускулна маса (kg)	57.4 $\pm$ 4.6	8.0	55.20-59.50
Обща мускулна маса (%)	76.4 $\pm$ 3.3*	4.3	74.86-77.97
Мастна маса ритач крак (kg)	2.4 $\pm$ 0.6	25.9	2.12-2.70
Мастна маса опорен крак (kg)	2.4 $\pm$ 0.6*	26.4	2.10-2.69
Мускулна маса ритач крак (kg)	10.4 $\pm$ 1.0	9.4	9.94-10.85
Мускулна маса опорен крак (kg)	10.5 $\pm$ 0.9	8.7	10.04-10.89
При нетренирани лица	X ср. $\pm$ SD	V%	95% доверителен интервал
Възраст (години)	26 $\pm$ 7	27.96	21.18 – 30.31
Ръст (m)	1.77 $\pm$ 0.09	4.82	1.71 – 1.82
Тегло (kg)	78 $\pm$ 10	12.84	71.84 – 84.61
ИТМ (kg/m ²)	25.1 $\pm$ 2.8	11.19	23.33 – 26.90
Мастна маса (kg)	17.9 $\pm$ 5.4	30.23	14.44 – 21.31
Мастна маса (%)	21.4 $\pm$ 6.0	28.28	17.54 – 25.23
Обща мускулна маса (kg)	56.7 $\pm$ 6.0	10.54	52.86 – 60.45
Обща мускулна маса (%)	71.1 $\pm$ 6.7	9.59	67.03-75.72
Мастна маса ритач крак (kg)	3.0 $\pm$ 1.1	36.73	2.33 – 3.75
Мастна маса опорен крак (kg)	3.1 $\pm$ 1.1	37.14	2.34 – 3.78
Мускулна маса ритач крак (kg)	10.3 $\pm$ 1.1	10.34	9.65 – 11.01
Мускулна маса опорен крак (kg)	10.2 $\pm$ 1.1	10.42	9.57 – 10.92

Обозначения: ИТМ – индекс на телесната маса; * статистически значими различия между антропометричните показатели на футболисти, в сравнение с нетренирани лица, ($p < 0.05$, Mann Whitney test).

Поради високите стойности на коефициентите на вариация, групата на нетренираните участници е хетерогенна по отношение на променливите: възраст (в

диапазон 19-39 години), мастна маса и процент мастна маса, както и по отношение на масата на мазнините и процента на мазнините, измерени отделно за двата крака. Вариационните коефициенти при групата на футболистите са по-ниски, в сравнение с контролната група. При футболистите вариационният коефициент превишава 20% само при мастната маса и възрастовите характеристики.

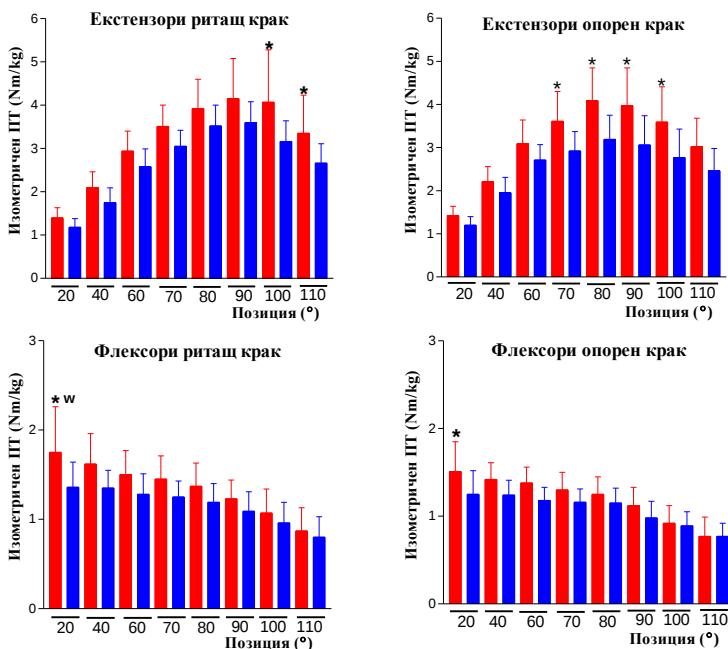
4.2. Изометричен силов профил на екстензори и флексори на колянна става

4.2.1. Сравнителна оценка на стойностите на въртящия момент

Средните стойности на въртящия момент при изометрични съкращения на екстензорите и флексорите на колянното при РК и ОК на футболистите и нетренираните лица, са представени на Фигура 1. Въртящият момент е измерен при 8 ъглови позиции, обхващащи голяма част от обема на движение в колянната става. Разпределението на данните от въртящия момент и при двете групи изследвани лица е нормално според теста на Shapiro-Wilks, но част от данните не следват Гаусово разпределение. Поради това неясно разпределение, бяха приложени непараметрични статистически тестове, приложими при по-малки извадки.

Според сравнителния анализ на средните стойности на абсолютния въртящия момент (Nm), при професионалните футболисти не се откриват достоверни различия между РК и ОК или в сравнени с нетренирани лица. МТ на екстензорите се регистрира при ъгъл 90° в колянното за РК (313 ± 79 Nm), а за ОК при 80° (307 ± 64 Nm). Разликите между позициите 80, 90 и 100° при РК са сравнително малки и не показват статистически

достоверни различия. Такива са и различията при 80° и 90°, при ОК. От друга страна, флексорите генерират максимален въртящ момент, при изометрични натоварвания при 20° флексия и при двата крака (133±44 Nm - РК и 114±31 Nm - ОК).



Фигура 1. Средни стойности и SD на нормализирания изометричен въртящ момент (Nm/kg) при екстензори и флексори при футболисти и нетренирани лица. С червен цвят са представени футболистите, със син – нетренираните лица.

Обозначения: ПТ-пиков въртящ момент; * статистически достоверна разлика на ПТ между футболисти и нетренирани лица; ^w статистически достоверна разлика на ПТ между ритащ и опорен крак; $p < 0.05$, One-way ANOVA, Bonferroni's multiple comparison test.

Разпределението на данните от нормализирания спрямо теглото въртящ момент, при изометрично измерване беше нормално (тест на Shapiro-Wilks). Сравнителният анализ на средните стойности на относителния въртящ момент (Nm/kg) е извършен с One-way ANOVA и последващ Bonferroni's multiple comparison test.

На Фигура 1 е представен ПТ/kg при футболистите и нетренираните лица, при които се установяват статистически значими различия ($p < 0.05$; One-way ANOVA, Bonferroni post-hoc test) в следните параметри: екстензорите на РК при ъглови позиции 100° и 110° и на ОК при 70° – 100° ; както и флексорите на РК и ОК в позиция 20° . Освен това, при анализ само на футболистите се наблюдават значими разлики между флексорите на РК и ОК в най-удължената им позиция от 20° ($p < 0.05$).

4.2.2. Въртящ момент-ъгъл зависимости и оценка на адаптационни промени в силовия профил при системно натоварване на футболисти

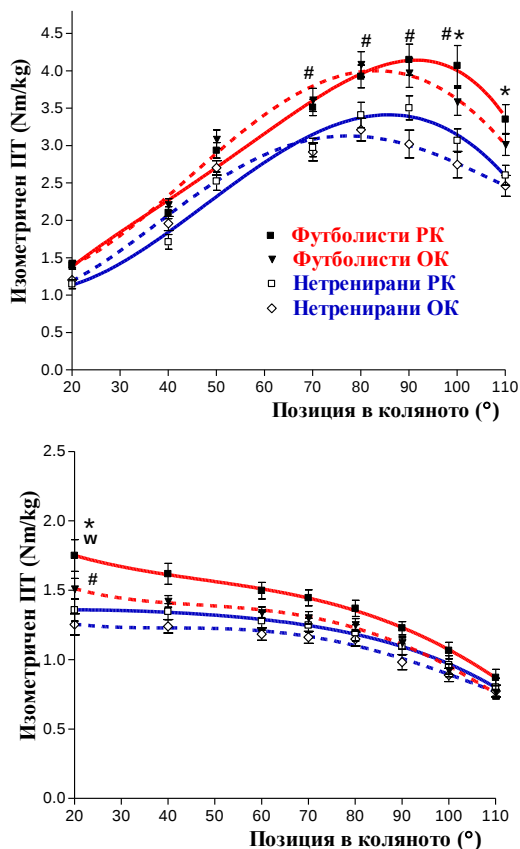
Въртящ момент-ъгъл зависимостите позволяват да се анализира връзката между изходната дължина на флексорите и екстензорите на коляното и сумарния въртящ момент, който генерират в широк обем на движение в колянната става. На Фигура 2 са представени въртящ момент-ъгъл зависимостите на екстензори и флексори, при футболисти и нетренирани лица, генерирани със стойностите на ПТ, нормализиран спрямо теглото на участниците (Nm/kg).

Кривите на футболистите нарастват от 20° до 90° при РК и от 20° до 80° при ОК. Екстензорите на РК

достигат максимални стойности на ПТ около 90°, след което се наблюдава спад на въртящия момент. При ОК след пик около 80°, ПТ спада в диапазона 90-110°. При контролната група ПТ на екстензорите на РК нараства до 85°, където е максималната му стойност, след което се наблюдава спад. ОК показва нарастване до 70°, последвано от плато на ПТ до 85° и спад до 110°.

Кривите на въртящия момент на екстензорите (Nm/kg), при двете групи изследвани лица са генерирани с полином от 4-та степен (R^2 над 0.99). Стойностите на ПТ на ОК са достоверно по-високи при футболистите в диапазона 70-100°, а на РК при 100 и 110°, в сравнение с нетренираните лица ($p < 0.05$, One-way ANOVA, Bonferroni post-hoc test).

Въртящ момент-ъгъл кривите на флексорите са генерирани с полином от 3-та степен, с $R^2 = 0.99$ при РК и ОК на футболистите и РК на контролната група, а при кривата на ОК на контролната група R^2 е 0.98. Кривите на флексорите генерират максимален въртящ момент при 20° и при двете изследвани групи, позиция с най-удължени флексори. При кривите на футболистите се наблюдава спадат в диапазона от 20 до 40°, докато при тези на нетренираните лица се задържа плато при съответните позиции. Кривата на ОК на футболистите формира плато на въртящия момент между 40 и 60°, но не и при РК. Стойностите на максималния въртящ момент при футболистите се регистрират при 20° и имат статистически достоверни различия с този на контролната група, както при РК, така и при ОК. Достоверна е и разликата между въртящия момент на РК и ОК на футболистите при 20° ($p < 0.05$, One-way ANOVA, Bonferroni post-hoc test).



Фигура 2. Въртящ момент-ъгъл криви на относителния въртящ момент (Nm/kg) Хср. и SEM, при изометрични съкращения на екстензорите и флексорите на футболисти и нетренирани лица. Обозначения: РК-ритащ крак, ОК-опорен крак; ПТ-пиков въртящ момент; * статистически достоверна разлика между футболисти и контроли при РК; # статистически достоверна разлика между футболисти и контроли при ОК; w-статистически достоверна разлика между РК и ОК при футболите; $p < 0.05$, One-way ANOVA, Bonferroni's multiple comparison test.

Корелационни зависимости

Беше проведен корелационен анализ, за да се изследва зависимостта между пиковия въртящ момент и параметрите на телесната маса. Резултатите при футболистите показват умерени до високи корелации на въртящия момент с теглото (kg), мастната маса и общата мускулна маса, които са статистически значими ($p < 0.05$).

Корелациите между теглото и въртящия момент при футболистите показват набор от положителни връзки, особено силни при флексорите на ОК, в определени позиции (Таблица 2). Подобни корелации не се установяват при екстензорите. При нетренираните лица корелациите на въртящия момент с теглото са предимно ниски. Умерена корелация се установява само при екстензорите на ОК, при 80° ($r = 0.54$; при $p < 0.01$).

Корелационните зависимости между въртящия момент и мастната маса при футболистите, са ниски до умерени. При нетренираните лица се регистрира умерена до висока положителна корелация при екстензорите на ОК в позиции 70° и 80° ($r = 0.55$ и $r = 0.65$; при $p < 0.01$).

Умерени положителни зависимости (стойности на Pearson r от 0.49 до 0.52; при $p < 0.05$) между въртящия момент и общата мускулна маса се откриват в диапазона на скъсени екстензори на РК и ОК на футболистите, но не и при удължени. При флексорите на футболистите корелацията на въртящия момент с общата мускулна маса е от умерена до висока положителна, достигаща до $r = 0.69$, при $p < 0.01$. При нетренираните лица, корелации с общата мускулна маса се установяват единствено при екстензорите на ОК, при 40° и 60° , където зависимостта е ниска до умерена.

Таблица 2. Корелационни зависимости между пиковия въртящ момент на флексорите и теглото при футболисти.

Флексори	Позиция	Коефициент на Pearson при $p < 0.05$	Интерпретация
РК	40°	$r = 0.66$	умерена до висока, положителна
ОК	40°	$r = 0.67$	умерена до висока, положителна
ОК	60°	$r = 0.72$	висока, положителна
ОК	70°	$r = 0.65$	умерена до висока, положителна
ОК	80°	$r = 0.70$	висока, положителна
ОК	90°	$r = 0.63$	умерена до висока, положителна

Обозначения: РК-ритащ крак; ОК-опорен крак.

4.3. Динамичен силов профил на екстензори и флексори на колянна става

4.3.1. Сравнителен анализ между професионални футболисти и нетренирани лица

Разпределението на данните от въртящия момент в Nm и при двете групи изследвани лица е нормално според теста на Shapiro-Wilks. Сравнителният анализ на абсолютните стойности на въртящия момент (Nm), измерен при концентрични мускулни съкращения на екстензорите и флексорите на колянното, не показва достоверни разлики между футболисти и нетренирани лица, с изключение на флексорите на РК при 60°/s. Данните отразяват стойностите на ПТ, измерени при 6 ъглови

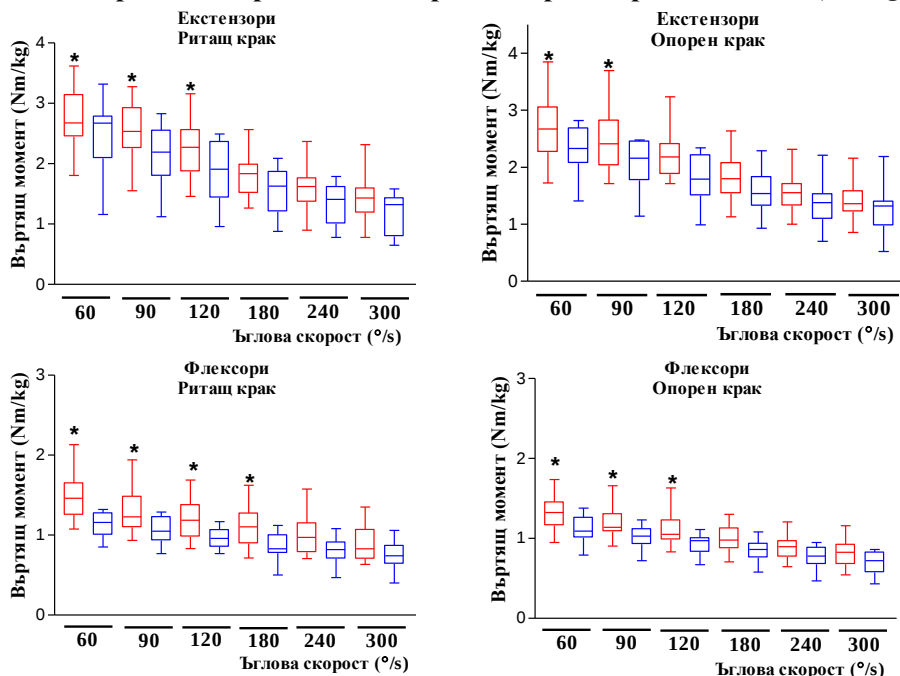
скорости (от 60 до 300°/s), които обхващат ниски, умерени и високи скорости.

Нормализираният спрямо телесната маса въртящ момент на екстензорите и флексорите на футболистите е достоверно по-висок спрямо контролите при ниски (60-90°/s) до умерени ъглови скорости (120-180°/s), което е представено на Фигура 3. Екстензорите на ОК при футболистите генерират по-висок относителен въртящ момент (Nm/kg) при двете изследвани ниски ъглови скорости: 60 и 90°/s ($p < 0.05$, One-way ANOVA, Bonferroni multiple comparison tests). Средните стойности са съответно 2.72 ± 0.59 и 2.47 ± 0.55 Nm/kg при футболистите и 2.29 ± 0.41 , 2.01 ± 0.44 Nm/kg при контролите.

При РК, екстензорите са статистически достоверно по-силни и при една от умерените скорости – 120°/s (2.27 ± 0.49 спрямо 1.77 ± 0.43 Nm/kg), както и при двете ниски, където разликата съответно е 14 и 17% ($p < 0.05$).

Флексорите на ОК при футболистите генерират по-голяма сила ($p < 0.05$) при скоростите 60, 90 и 120°/s, където относителният въртящ момент е 1.32 ± 0.22 , 1.19 ± 0.19 и 1.10 ± 0.19 Nm/kg, съответно. При РК, флексорите на контролите показват статистически достоверно по-ниски стойности на въртящия момент с 20- 23% при четири от тестваните скорости в диапазона от 60 до 180°/s (Фигура 3). При високите ъглови скорости (240 и 300°/s) не се откриват статистически достоверни различия между футболисти и контроли, както при екстензорите, така и при флексорите на коляното.

Концентрични съкращения – нормализиран въртящ момент (Nm/kg)

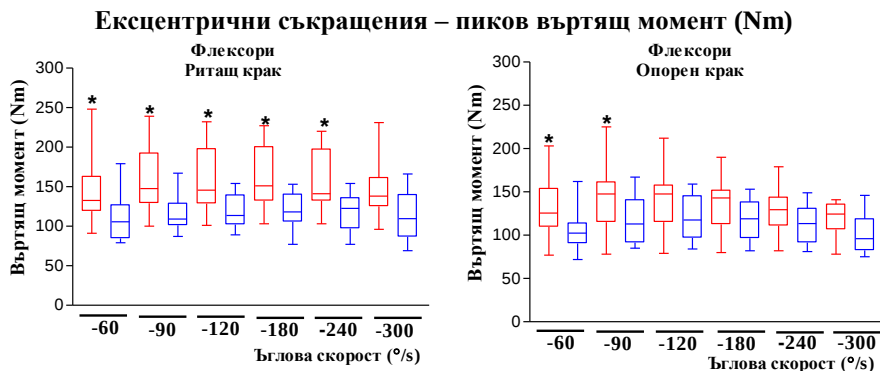


Фигура 3. Сравнително представяне на относителния въртящ момент при концентрични съкращения на екстензори и флексори на коляното между професионални футболисти и нетренирани контроли. В червено са отбелязани футболистите, а в синьо нетренираните лица.

Обозначения: * статистически достоверни различия в сравнение с нетренираните, $p < 0.01$, One-way ANOVA, Bonferroni multiple comparison test.

Статистическият анализ, проведен с One-way ANOVA и Bonferroini post-hoc тестове за множествени сравнения, показва, че разликите в абсолютните стойности на въртящия момент (Nm) между футболисти и нетренирани лица не са статистически значими при тестването на екстензорите, докато при флексорите футболистите постигат достоверно по-високи стойности

($p < 0.05$), представени на Фигура 4. Флексорите на ОК отчитат достоверни различия само при двете ниски скорости, където ПТ на футболистите е 143 ± 35 и 132 ± 33 Nm спрямо 117 ± 27 и 106 ± 24 Nm при контролите ($p < 0.05$).



Фигура 4. Сравнително представяне на абсолютния пиков въртящ момент от ексцентрични съкращения на флексори на коляното между професионални футболисти и нетренирани контроли при различни ъглови скорости. В червено са отбелязани футболистите, а в синьо нетренираните лица.

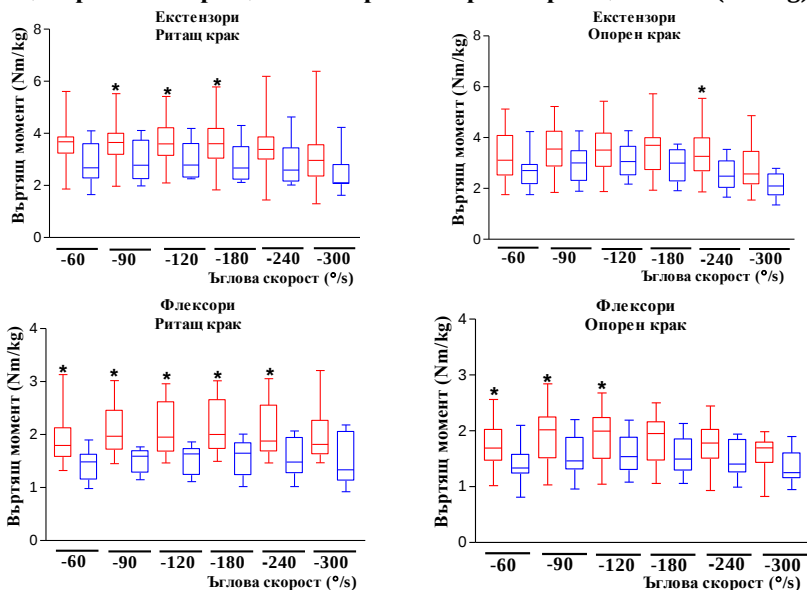
Обозначения: * статистически достоверни различия в сравнение с нетренираните контроли, $p < 0.05$, One-way ANOVA, Bonferroni multiple comparison test.

При ексцентричните тестове, футболистите демонстрират достоверно по-силни флексори на РК, в сравнение с контролите, при всички тествани скорости, с изключение на $300^\circ/\text{s}$ (Фигура 5). Разликите при 60 до $240^\circ/\text{s}$ варират между 14 и 16%.

Относителният въртящ момент, измерен при ексцентрични съкращения показва достоверни различия между футболисти и контроли, както при флексорите, така и при екстензорите. При екстензорите на ОК на футболистите, обаче, различията са значителни

единствено при една от високите ъглови скорости - $240^{\circ}/s$ ($p < 0.05$).

Ексцентрични съкращения – нормализиран въртящ момент (Nm/kg)



Фигура 5. Сравнително представяне на нормализиран пиков въртящ момент/kg от ексцентрични съкращения на екстензори и флексори на коляното между професионални футболисти и нетренирани контроли. В червено са отбелязани футболистите, а в синьо нетренираните лица.
Обозначения: * статистически достоверни различия в сравнение с нетренираните контроли, $p < 0.05$, One-way ANOVA, Bonferroni multiple comparison test.

Стойностите на въртящия момент при тази скорост са 3.37 ± 0.96 Nm/kg при екстензорите на футболистите, спрямо 2.56 ± 0.58 Nm/kg при нетренираните лица. От друга страна, екстензорите на РК при този режим на мускулни съкращения са достоверно по-силни от контролите при три от изследваните скорости – 90, 120 и $180^{\circ}/s$. Процентната

разлика между двете тествани групи е между 20-21% при трите скорости.

При флексорите се запазва наличието на значими разлики ($p < 0.01$), подобно на установените при сравнителния статистически анализ на абсолютния въртящ момент. Достоверна разлика се открива и при умерената скорост $120^\circ/\text{s}$, при която ОК на футболистите генерира по-висок въртящ момент: $1.92 \pm 0.46 \text{ Nm/kg}$ спрямо $1.57 \pm 0.35 \text{ Nm/kg}$ при контролите ($p < 0.05$).

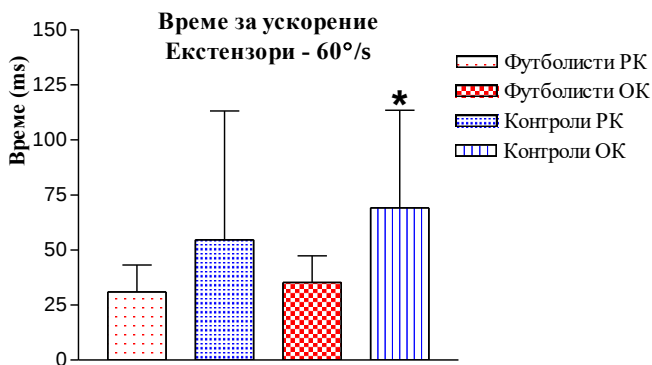
4.4. Времеви показатели: време за достигане на пиков въртящ момент и време за ускорение

Стойностите на двата показателя: време за достигане на пиков въртящ момент (Time to peak torque – TPT) (ms) и време за ускорение (ms) не следват нормално разпределение според проведен Shapiro-Wilks тест ($p < 0.05$). Сравнителният анализ на TPT не показва достоверни различия между футболисти и контроли при тестваните ъглови скорости (Kruskal-Wallis тест и Dunn's post hoc test). TPT намалява в съответствие с покачването на скоростта на движение в коляното. При ниските скорости $60-90^\circ/\text{s}$ е необходимо най-продължително време, за да се постигне пиков въртящ момент. При $60^\circ/\text{s}$ средните стойности на TPT, при екстензорите на футболистите, варират между $672 \pm 174 \text{ ms}$ за РК и $628 \pm 199 \text{ ms}$ за ОК. TPT при нетренираните е по-дълго, макар че не достоверно, като стойностите му за екстензорите при $60^\circ/\text{s}$ са $752 \pm 269 \text{ ms}$ при РК и $821 \pm 223 \text{ ms}$ при ОК.

В сравнение с екстензорите, флексорите генерират пиков въртящ момент по-бавно, макар че това също не се доказва статистически. Това важи за флексорите на двата

крака при нетренираните контроли и флексорите на ОК при футболистите. Изключение правят флексорите на РК при футболисти, които при ниските скорости постигат време, подобно на съответните екстензори, установено с Kruskal-Wallis тест и Dunn's post hoc тест ($p>0.05$). Флексорите на РК при 60 °/s регистрират средни стойности от 642 ± 221 ms, докато при екстензорите те са 672 ± 174 ms.

При сравнителния анализ на времето за ускорение се откриват достоверни различия между футболисти и контроли само при ниските скорости и само при ОК (Фигура 6). Екстензорите на ОК на футболистите и имат достоверно по-кратко време на ускорение, в сравнение с групата на контролите показват различия при 60°/s ($p<0.05$).



Фигура 6. Сравнителен анализ на времето за ускорение при концентрични съкращения на екстензорите, при ъглова скорост 60°/s между професионални футболисти и нетренирани контроли.

Обозначения: РК- ритач крак; ОК – опорен крак;
 *статистически достоверна разлика в сравнение с ОК на футболистите; Kruskal-Wallis test, Dunn's post hoc test, $p<0.05$.

4.5. Типове въртящ момент-ъгъл и въртящ момент-скорост зависимости за оценка на статична и динамична стабилност чрез коефициенти на билатерална асиметрия между риташ и опорен крак

Билатералната асиметрия е представена количествено чрез коефициенти (К-БА-изом) между РК и ОК при изометрични мускулни съкращения, както и чрез аналогични коефициенти при тестване в концентричен и ексцентричен режим.

При изометричното тестване, в зависимост от поведението на екстензорите на РК и ОК, се формираха три типа нетренирани лица, наречени Тип I, Тип II и Тип III и три типа футболисти - Тип А, Тип В и Тип С. Два типа лица бяха формирани по отношение на флексорите на контролите и на футболистите, наречени Тип 1 и Тип 2 или Тип а и Тип б, съответно. В основата на посочените типове беше спецификата на въртящ момент-ъгъл кривите на двата крака, в определени области от обема на движение на коляното, в които екстензорите или флексорите са къси или дълги, или как е ситуирана ъгловата позиция, в която се наблюдава изометричният МТ . Количествено, това се характеризира чрез коефициентите за билатерална асиметрия, изчислени във всички измерени ъглови позиции в целия обем на движение на коляната става при двете групи изследвани лица. Чрез отстоянията между кривите на двата крака се визуализират областите с или без билатерална асиметрия. Кривите са генерирани със средни стойности $\pm$ SEM за всеки от типовете.

От изложеното следва, че се формират 6 възможни комбинации от екстензори (Е) и флексори (Ф) **тип Е/тип Ф**

при нетренирани и 6 при тренирани. При нетренирани тези комбинации са: **I1, II1, III1, I2, II2 и III2**, а при футболистите са: **Aa, Ba, Ca, Ab, Bb и Cb**. В настоящото изложение са описани основните типове нетренирани и футболисти по отношение на екстензорите и флексорите, и техните характеристики при трите вида динамометрично тестване – изометричен, концентричен и ексцентричен.

Нетренираните лица и футболистите, които принадлежат към даден тип и са установени при изометричното тестване чрез зависимости въртящ момент-ъгъл, са проследени и при динамичните режими на тестване. Така, според установените типове въртящ момент-ъгъл зависимости и лицата, които спадат към тях, са генерирани зависимостите въртящ момент-скорост при концентрични и ексцентрични съкращения на екстензорите и флексорите на колянната става. За всеки тип при нетренираните и при футболистите беше направен комплексен анализ, който включва трите измерени режима на мускулни съкращения.

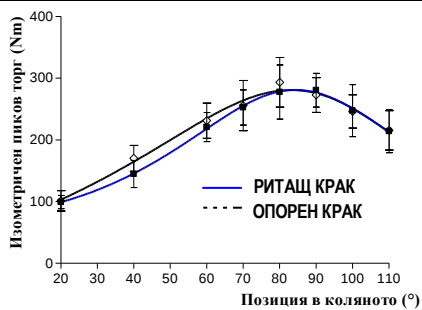
Типове нетренирани лица и футболисти по отношение на екстензорите

• Нетренирани Тип I

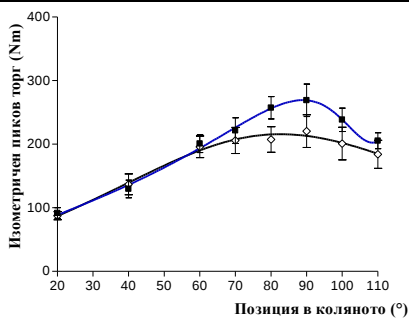
Тип I (Фигура 7 – Тип I) се наблюдава при 25% от контролите ($n=3$) и се характеризира с ниски нива на двустранна силова асиметрия при изометричното тестване ($K-BA-изом < 15\%$) в целия тестван обхват на движение в колянна става (20° - 110°). Максималният въртящ момент се регистрира при позиции от 80° до 90° , след което в областта на максимално удължаване на мускулите (100° - 110°) намалява. Стойностите му са: $280 \pm 27 \text{ Nm}$ при 90° за РК и $293 \pm 40 \text{ Nm}$ при 80° за ОК.

ИЗОМЕТРИЯ НЕТРЕНИРАНИ ЕКСТЕНЗОРИ

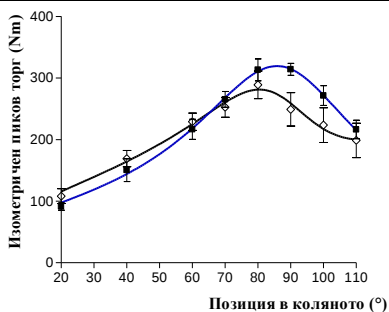
Тип I



Тип II



Тип III



Фигура 7. Типове нетренирани лица според вида на билатерална асиметрия при изометрично тестване на екстензорите и установените въртящ момент-ъгъл зависимости (Хср. и SEM).

Тенденцията за близки стойности на въртящия момент между двата крака в изометричен режим и ниска асиметрия, се запазва и при концентричните съкращения. В ексцентричен режим екстензорите на ОК са по-слаби от тези на РК, като билатералната асиметрия е най-изразена при (-) 60 и (-) 300°/s (23 и 25%).

- **Нетренирани Тип II**

Наблюдава се при 42% от лицата (n=5). Екстензорите на коляното на РК са значително по-силни в сравнение с тези на ОК в диапазона от 80° до 110° (Фигура 7, тип II), където К-БА-изом е повече от 15% и е най-изразена при позициите 90° и 100°. Максималният въртящ момент на екстензорите, при който тяхната дължина е оптимална, не надвишава 269 Nm и 221 Nm за РК и ОК, съответно. При концентрични съкращения се отчита умерена билатерална асиметрия при ъгловите скорости 120-300°/s. Ниските скорости при ексцентрични съкращения показват повишаване на двустранната асиметрия спрямо нормата. При високите скорости ОК е по-слаб от РК и генерира билатерална асиметрия над нормата.

- **Нетренирани Тип III**

Към Тип III спадат 33% от контролите (n=4). При тях (Фигура 7, тип III) РК е по-силен в диапазона 80-110°, но при скъсени екстензори (20-70°) ОК показва по-голяма сила. Въпреки че разликите не са статистически значими ($p < 0.05$, тест на Kruskal-Wallis, Dunn's post-hoc тест), стойностите на К-БА-изом показват изразена двустранна асиметрия при 40°, където тя достига 23 ± 7 %. При двата крайника максималният въртящ момент се регистрира при различни ъглови позиции. В концентричен режим не се

наблюдават съществени билатерални разлики в силата между екстензорите на двата крака. Това се потвърждава от стойностите на билатерална асиметрия, които са близки до нормата. ОК е по-силен от РК в ексцентричен режим и показва най-високи стойности на въртящия момент при умерени скорости (-)120 и (-)180°/s.

- **Футболисти Тип А**

Този тип (Фигура 8 – тип А) е характерен за 35% от футболистите (n=7). При тях нивата на двустранна асиметрия са ниски (К-БА-изом < 10%), поради малките разлики в силата между РК и ОК в целия тестван обхват на движение (20°-110°), с изключение от 1-2% над нормата, при отделни позиции на скъсени екстензори. При този тип МТ има сходни стойности за двата крайника: 280 ± 43 Nm при 90° за РК и 282 ± 45 Nm при 90° за ОК. При концентрични съкращения разликата между РК и ОК е минимална, например при 60°/s се регистрират стойности от 207 ± 42 и 205 ± 51 Nm. Асиметрията между двата крака в концентричен режим е ниска, с изключение на най-високата скорост, където тя е $17 \pm 8\%$. При по-ниските скорости на ексцентричния режим, от (-) 60 до (-) 120°/s, ОК е по-слаб от РК.

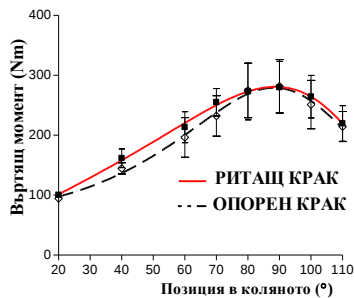
- **Футболисти Тип В**

Тип В са 30% от футболистите (n=6). Екстензорите на РК са по-силни в сравнение с тези на ОК в диапазона 90° - 100° (Фигура 8 – тип В), където К-БА-изом е повече от 10% (18 ± 10 и $25 \pm 15\%$). При РК се наблюдава изместване спрямо ОК на позицията, а съответно и на мускулната дължина, при която се генерира максимален въртящ момент. При екстензорите на РК той е при 100°, а при ОК

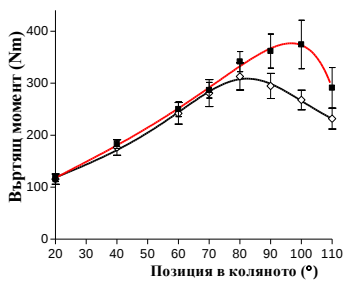
се регистрира при 80° , със стойности: 374 ± 47 Nm и 313 ± 26 Nm, съответно.

ИЗОМЕТРИЯ ФУТБОЛИСТИ ЕКСТЕНЗОРИ

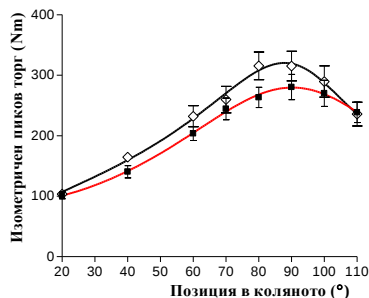
Тип А



Тип В



Тип С



Фигура 8. Типове футболисти според вида на билатерална асиметрия при изометрично тестване на екстензорите и установените въртящ момент-ъгъл зависимости (Хср. и SEM)..

При концентрични тестове екстензорите показват малки различия в силата на РК и ОК и умерена билатерална асиметрия, до 16%. При ексцентричен режим се открива висока билатерална силова асиметрия, като РК е по-силен при по-високите скорости, от $(-180$ до $(-300^{\circ}/s$, с изразена асиметрия от 17 до 22%.

- ***Футболисти Тип С***

При футболите тип С (35%; $n=7$), кривите въртящ момент-ъгъл показват по-силни екстензори на ОК в сравнение с РК, както при скъсени екстензори, така и при удължени, в диапазона $20-90^{\circ}$ (Фигура 8 - тип С). Стойностите на коефициентите на билатерална асиметрия достигат $28 \pm 12\%$. Максималният въртящ момент при изометрични натоварвания на екстензорите на РК се отчита при 90° , а на ОК между 80 и 90° . В концентричен режим футболите от този тип показват минимални отклонения ($1-2\%$) от нормата за билатерална асиметрия на екстензорите. В ексцентричен режим, билатералната асиметрия е над нормата, с изключение на $300^{\circ}/s$.

Типове нетренирани лица и футболисти по отношение на флексорите

Анализът на билатералната асиметрия при изометричните контракции на флексорите на коляното на нетренираните показва две основни тенденции и според него бяха обособени два типа лица.

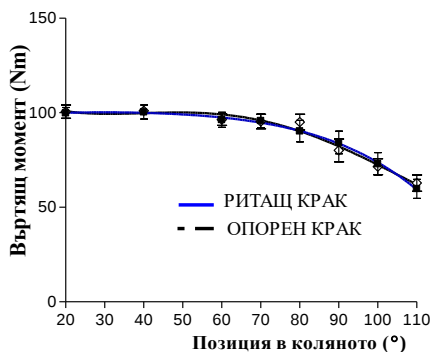
- ***Нетренирани Тип 1***

При Тип 1 (Фигура 9 – тип 1), който се наблюдаваше при 58% от лицата ($n=7$) К-БА-изом не превишава нормата за здрави нетренирани лица. Максималният въртящ момент се регистрира в диапазона

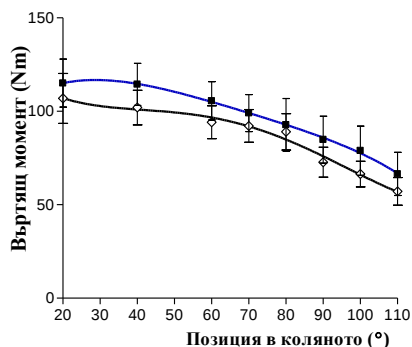
20-60°, като средните му стойности при 40° са 100 ± 4 Nm и 101 ± 2 Nm, за РК и ОК, съответно.

ИЗОМЕТРИЧНИ - НЕТРЕНИРАНИ - ФЛЕКСОРИ

Тип 1



Тип 2



Фигура 9. Типове нетренирани лица според вида на билатерална асиметрия при изометрично тестване на флексорите и установените въртящ момент-ъгъл зависимости (Хср. и SEM).

При концентрични съкращения билатералната асиметрия не превишава нормата и няма различия в силата между двата крака. В ексцентричен режим РК показва по-силни флексори от ОК, при всички ъглови скорости. Наблюдават се и повишени стойности на билатерална

асиметрия, най-изразена при ниски скорости (-) $60^{\circ}/s$ - $26\pm14\%$.

Нетренирани Тип 2

При флексорите вторият тип нетренирани лица (Фигура 9 – тип II) бяха 42% ($n=5$). Характерно за тях е наличието на асиметрия равна на или над 15% в диапазона от 20° до 90° . МТ се регистрира при 20° и за двата крака. Стойностите му са 115 ± 13 Nm и 107 ± 13 Nm, при РК и ОК, съответно. К-БА-изом при 20° достига $18\pm13\%$. При концентрични съкращения флексорите генерират билатерална асиметрия в нормални граници, докато в ексцентричен режим се отчитат завишени стойности на коефициентите. При ексцентрични съкращения РК е по-слаб от РК, в диапазона -60 до $-120^{\circ}/s$.

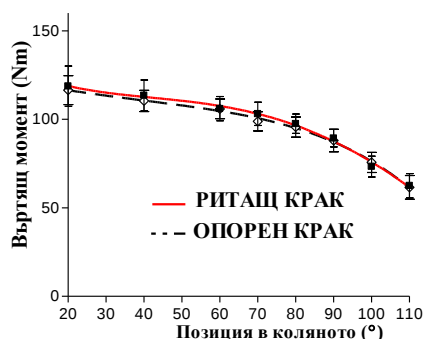
Според коефициентите на билатерална асиметрия флексорите на футболистите също бяха разделени в два типа. Съществено различие с контролната група са значително по-високите стойности на коефициентите на асиметрия при футболистите.

• Футболисти Тип а

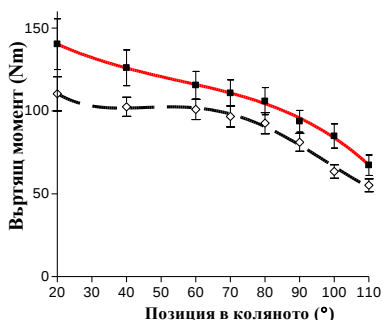
При първия тип (Фигура 10– тип а) билатералната асиметрия е под или превишава умерено нормата от 10% само при отделни позиции. Тип а е характерен за 45% от футболистите ($n=9$). В диапазона 20 до 90° К-БА-изом е под 10%. В последните позиции $100-110^{\circ}$, където флексорите са силно скъсени и генерират най-ниски стойности на въртящия момент, асиметрията достига по-високи стойности (15 ± 12 и $18\pm12\%$). Максималният въртящ момент се регистрира при 20° със стойности: 119 ± 11 Nm за РК и 117 ± 8 Nm при ОК, съответно. В концентричен и ексцентричен режим РК е по-силен, в

сравнение с ОК. При двата динамични режима се регистрира билатерална асиметрия над нормата. Концентричният режим при флексорите генерира асиметрия между 12 и 18% при скоростите от 120 до 300°/s, докато при ексцентричния се регистрират значително по-високи стойности, при всички скорости.

ИЗОМЕТРИЧНИ ФУТБОЛИСТИ ФЛЕКСОРИ
Тип а



Тип б



Фигура 10. Типове футболисти според вида на билатералната асиметрия при изометрично тестване на флексорите и установените въртящ момент-ъгъл зависимости ($\bar{X}$ и SEM).

- **Футболисти Тип b**

При футболистите от тип b се установяват високи стойности на К-БА-изом, през целия обем на движение в коляното (Фигура 10). Типът се наблюдава при 55% от футболистите (n=11). Средните стойности на билатералната асиметрия варират между 17 и 25%. Максималният въртящ момент е регистриран при 20° и е 140±15 Nm за РК и 110±10 Nm за ОК. В концентричен режим също се наблюдава повишена асиметрия, предимно при ниските скорости, докато при ексцентричен това е характерно за всички измерени скорости. РК регистрира по-високи стойности на въртящия момент, в сравнение с ОК и при двата динамични режима. При по-високи скорости се наблюдава спад в ексцентричната сила на флексорите.

4.5. Оценка на мускулен дисбаланс и степен на динамичен контрол чрез коефициенти за унилатерална асиметрия между флексори и екстензори

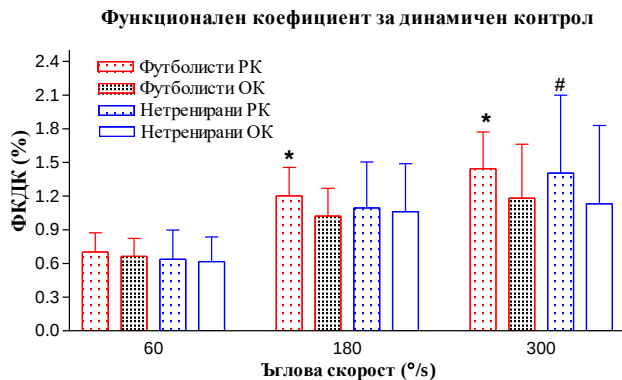
Данните за коефициентите на унилатералната асиметрия не следват нормално разпределение, според критерия на Shapiro-Wilks ($p < 0.05$).

Оценяването на унилатерална асиметрия е извършено при трите основни ъглови скорости - 60, 180 и 300°/s. Не се откриват достоверни различия в стойностите на К-УА-конц между футболисти и контроли, нито между РК и ОК (Kruskal-Wallis тест и Dunn's post hoc тест).

При скорост 60°/s, в допустимия интервал между 52 и 72%, където оптималната стойност е 62%, попадат 9 лица от групата на футболистите (45%) за РК и 7 (35%) за ОК. При 10 от 11-те нетренирани лица стойностите на К-УА-

конц. са под или над допустимия диапазон при РК, докато при ОК това се наблюдава при 55% от тестваните лица. При умерената скорост от $180^{\circ}/s$, нормата за унилатералния коефициент на асиметрия е 72%, а допустимият интервал включва стойностите от 62 до 82%. В рамките на тези стойности се намира РК при 45% от футболистите, докато при ОК в норма са само двама от изследваните футболисти. Останалите 90% от футболистите проявяват повишен силов дисбаланс между екстензорите и флексорите на ОК. При тази скорост над 90% от нетренираните контроли също не успяват да влязат в стойностите от допустимия интервал на унилатералния коефициент, както при РК, така и при ОК. При най-високата използвана ъглова скорост - $300^{\circ}/s$, по-голям процент от футболистите (40%; $n=8$) показват стойности на коефициента в границите на нормата, в сравнение с ОК (25%; $n=5$). При тази скорост повече от половината изследвани нетренирани лица са извън допустимия диапазон: 55% ($n=6$) при РК и 82% ($n=9$) при ОК.

Функционалният коефициент за динамичен контрол, който отразява баланса между ексцентричната сила на флексорите към концентричната на екстензорите, е представен на Фигура 11, при три от измерените ъгови скорости – ниска - $60^{\circ}/s$, умерена - $180^{\circ}/s$ и висока - $300^{\circ}/s$. При групата на футболистите стойностите му за РК са достоверно по-високи при 180 и $300^{\circ}/s$ (1.20 ± 0.25 и 1.44 ± 0.33 , съответно), в сравнение с ОК (1.02 ± 0.25 и 1.18 ± 0.48 , съответно). При контролите коефициентът на ОК се различава от РК само при $300^{\circ}/s$ (1.41 ± 0.70 – РК и 1.13 ± 0.70 - ОК).



Фигура 11. Функционални коефициенти за динамичен контрол при футболисти и нетренирани лица.

Обозначения: РК – ритач крак; ОК – опорен крак; ФКДК – Функционален коефициент за динамичен контрол; *статистически достоверна разлика в сравнение с ОК на футболистите; # статистически достоверна разлика в сравнение с ОК на нетренираните контроли. Kruskal-Wallis test и Dunn's post hoc test, $p < 0.05$.

5. Обсъждане на получените резултати

Основният фокус на настоящата работа са адаптационните изменения в силовите характеристики при професионални футболисти. Настоящото изследване имаше за цел да оцени и сравни силовите характеристики на мускулите екстензори и флексори на колянната става при професионални футболисти и нетренирани лица, като се обърне специално внимание на зависимостите въртящ момент-ъгъл и въртящ момент-скорост, както и на двустранните и едностранни силови асиметрии. Предполагаемите изменения са проследени чрез прилагането на изокинетична динамометрия за

количествена оценка на промените в силата на мускулите екстензори и флексори на коляното. Използването на изометричен, концентричен и ексцентричен режим при изследването, осигури оценяване на цялостния профил на мускулната функция. Тези изследвания са допълнени от антропометричен анализ и анализ на показатели на телесната маса.

Също така, поради специализацията на двата крака при футболисти, при които единият крак изпълнява функцията на ритач, а другият предимно опорна функция, са търсени и адаптационни промени между РК и ОК. За да се открият и анализират тези промени са проследени показателите: абсолютен пиков въртящ момент (Nm), пиков въртящ момент, нормализиран спрямо телесната маса (Nm/kg), коефициенти за унилатерална и билатерална асиметрия, криви на въртящ момент-ъгъл и въртящ момент-скорост зависимости, както и някои времеви показатели на генерирането на сила при футболистите и нетренираните лица.

Най-същественото, което беше установено от настоящите изследвания е: достоверни разлики в относителния въртящ момент на екстензорите и флексорите на коляно между футболисти и нетренирани лица при изометрични, ексцентрични и концентрични мускулни съкращения; различия в оптималните мускулни дължини на екстензорите на коляното на РК за генериране на максимална изометрична сила. Бяха установени различия освен между футболисти и нетренирани, но и между РК и ОК на двата крака, което потвърждава тяхната специализация при футболистите. Бяха формирани типове футболисти и нетренирани лица според индивидуалния

профил на изометричната им сила и двустранната силова асиметрия.

Бяха установени разлики в мастната маса и общата мускулна маса между футболистите и нетренираните лица. Общата мускулна маса корелира положително с изометричния ПТ при скъсени екстензори на футболистите, а мастната маса с екстензорите на ОК при нетренираните лица. Положителни корелации бяха установени и между теглото на футболистите и ПТ на флексорите на коляното при ОК. Адаптационните изменения бяха потвърдени и чрез времето за ускорение до изокинетична скорост, което е по-кратко при ОК на футболистите, в сравнение с ОК при нетренирани лица. Също така при РК на футболистите функционалният коефициент за динамичен контрол е по-висок, в сравнение с ОК, което потвърждава адаптационните изменения, произтичащи от функционалната специализация на краката.

Адаптационните промени, настъпващи при професионалните футболисти, често се изразяват в оптимизация на телесната композиция – увеличаване на мускулна маса за сметка на мастната тъкан, което води до подобрена механична ефективност при изпълнение на действията във футбола. Съществува пряка зависимост между телесната маса, особено при доминиращо участие на мускулната компонента, и способността за генериране на експлозивна сила, ускорение, както и за поддържане на стабилност и баланс в ситуации на физически контакт. В същото време, прекомерната или неравномерно разпределена телесна маса може да има ограничаващ ефект върху подвижността и аеробната ефективност, което

налага внимателен мониторинг и контрол на тези показатели в рамките на индивидуализирани тренировъчни програми. В този контекст, проследяването на антропометричните изменения служи не само като индикатор за физическа адаптация, но и като средство за прогнозиране на спортния потенциал и риска от травми.

Получените антропометрични данни и показатели на телесния състав при изследваната група футболисти попада в рамките на нормативните стойности за професионални състезатели, както по отношение на мастната маса, така и спрямо основните антропометрични показатели.

Професионалните футболисти показват абсолютна симетрия между РК и ОК според показателя мастна маса. Достоверни разлики не се откриват и в общата мускулна маса между РК и ОК. Hart et al., (2014), изследва връзката между симетрията в силовите характеристики и мускулната маса на долните крайници с точността при ритане. В изследването участват 31 футболисти, разделени в групи според точността на ударите си. Резултатите показват, че точните футболисти имат по-висока обща мускулна маса и по-нисък процент мазнини в краката си, без значими асиметрии между крайниците. За разлика от тях, неточните футболисти демонстрират изразена асиметрия в мускулната маса и в силата, които са по-ниски при ОК. Според това изследване по-добрата симетрия и по-високата сила на долните крайници могат да допринесат за по-висока техническа ефективност и точност при ритане.

При футболистите силната корелация между телесната маса и изометричния ПТ на флексорите на ОК, в широк ъглов диапазон (40° – 90°), вероятно отразява

адаптация на мускулните групи, участващи активно в спиране, промяна на посоката и приземяване след скок. Футболистите с по-голяма телесна маса обикновено притежават и по-обемни бедрени мускули, което превръща общото им тегло в надежден индикатор за силовия капацитет на флексорите. Липсата на такава зависимост при екстензорите подсказва, че при тях освен размерът, важна роля вероятно имат архитектурни характеристики (напр. ъгълът спрямо надлъжната ос при перестите мускули, дължина на мускулните снопчета) и невромускулна координация.

Корелациите с общата мускулна маса може да се интерпретира като доказателство, че при скъсено мускулно състояние, мускулната маса (отразена чрез общата мускулна маса) играе по-съществена роля за генерирането на сила. Обратно, при удължени екстензори (по-голяма флексия), тази зависимост отслабва, вероятно поради доминиращо влияние на други фактори, като архитектура на мускула, еластични компоненти и невромускулна координация.

При флексорите на футболистите зависимостта между ПТ и общата мускулна маса е по-силно изразена – от умерена до висока (r до 0.69; $p < 0.01$), което може да се тълкува като индикатор за по-тясна връзка между количеството мускулна тъкан и силовия капацитет на тези мускулни групи, особено в контекста на тяхната роля в стабилизиране, спиране и контрол на движенията при футболна дейност.

Информацията за телесния състав и неговата връзка със силовите характеристики на долните крайници може да бъде използвана от футболните треньори за

адаптиране на тренировъчния процес спрямо индивидуалната телесна композиция на състезателите. Чрез редовно проследяване на параметри като мастна и обща мускулна маса, треньорите могат да оценяват ефекта от натоварванията и да адаптират програмите според нуждите на всеки състезател.

От извършените динамометрични тестове с футболисти и нетренирани лица в настоящата работа, са анализирани данни за въртящия момент в колянната става, като абсолютен въртящ момент (Nm) и въртящ момент, разделен на телесната маса (Nm/kg). При анализ на билатералните разлики в силата чрез статистически тестове, с абсолютните стойности на ПТ (Nm) не се установяват достоверни разлики при двете изследвани групи. Изключение е ексцентричната сила на флексорите на футболистите, която е достоверно по-висока, в сравнение с нетренираните лица при ниски и умерени скорости, което подчертава промените в силата на флексорите на футболистите, които се адаптират към двигателни задачи, вероятно свързани с противодействие на силните екстензори на коляното и стабилизация на колянната става.

В настоящото изследване бяха получени доказателства за адаптационните изменения в силовите характеристики на флексорите, така и на екстензорите на коляното при професионални футболисти. Адаптацията в силовите характеристики беше доказана чрез количествени разлики в стойностите на относителния пиков въртящ момент при трите измерени режима на тестване между футболисти и нетренирани, и промени в биомеханиката на

генериране на сила, изразени чрез изместване на оптималните мускулни дължини за постигане на МТ.

Специализацията на двата крака при футболисти беше доказана и с достоверни разлики в силата на РК и ОК, при оптималните мускулни дължини за флексорите на коляно, при изометрично тестване. Въпреки, че не се откриха статистически достоверни разлики между РК и ОК при изометрично тестване на екстензорите, се наблюдаваха несъответствия в позициите, при които се установяват достоверни разлики в силата на РК и ОК с нетренираните. РК е по-силен от РК при нетренираните само при силно удължени екстензори (100° и 110°), докато при ОК разликите са в диапазона $70-100^{\circ}$. Наблюдаваната особеност на двата крака при футболисти, вероятно отразява адаптационните изменения, които са свързани със специализацията на РК и ОК.

Освен разликите в стойностите на ПТ между футболисти и нетренирани, и между РК и ОК, се установяват различия в позициите, при които футболистите и нетренираните са най-силни в изометричен режим на тестване. Промените в позициите на коляното могат да окажат значително влияние върху рамото на силата на екстензорите. При професионалните футболисти от настоящото изследване се установи изместване на ъгъла, при който екстензорите на РК регистрират МТ, с 10-15%. При футболистите, в сравнение с нетренираните лица, МТ се постига при по-удължени екстензори.

Адаптационните промени бяха доказани и чрез разлики в двустранните силови различия, изразени чрез билатерални коефициенти на асиметрия и различия в ролята на екстензорите и флексорите на двата крака, при

генерирането на двустранни силови асиметрии. Поради наличието на лица с изразена билатерална асиметрия и такива с ниска, в рамките на нормата и при двете изследвани групи, беше въведено класифициране на лицата в отделни типове. За целта бяха генерирани и индивидуални въртящ момент-ъгъл криви при екстензорите и флексорите на коляното, за визуализиране на ролята на РК и ОК в генерирането на билатерална силова асиметрия.

Индивидуалните зависимости въртящ момент-ъгъл, при екстензорите на групата на футболистите, показват както прилики, така и някои различия с изометричния профил на нетренираните лица. Два типа футболисти– Тип А и В, са с повтарящи се тенденции на разликите в ПТ и подобно на нетренираните лица се наблюдават криви с липса на силова асиметрия между двата крайника или с наличие на висока билатерална асиметрия само в диапазона на удължени екстензори, със силово доминиращ РК.

Съществена разлика с контролната група показват Тип В футболистите, при които стойностите на ПТ са значително по-високи в диапазона с изразена асиметрия и се наблюдава изразено изместване на МТ на екстензорите на РК, с над 15° , към по-големи мускулни дължини. Различия се наблюдават и при Тип С футболистите, при които ОК доминира през по-голяма част от обема на движение, което беше нехарактерно за нетренираните.

При футболистите индивидуалният анализ на въртящ момент-скорост зависимостите показва значителни прилики с нетренираните лица в концентричен режим. При този режим на тестване екстензорите на футболистите и

нетренираните лица редуцират установените при изометричните тестове билатерални силови различия. От друга страна, поведението на флексорите на футболистите се различава от това при контролите. Флексорите на футболистите проявяват билатерална асиметрия, заради по-слаби флексори на ОК от тези на РК при концентрични съкращения, докато флексорите на контролите не показват разлики между РК и ОК.

Най-отчетливи двустранни силови разлики бяха отчетени в ексцентричен режим (20–30 % при екстензорите; до 50 % при флексорите), което очертава слабост в ОК, докато нетренираните лица проявяват умерена билатерална асиметрия при ексцентрични тествания. Значителните двустранни дисбаланси в мускулната сила, особено изразени при динамични натоварвания и в ексцентричен режим, се асоциират с повишен риск от мускулни увреждания, като най-често засегнати са флексорите на коляното.

Получените в настоящото изследване индивидуални въртящ момент-ъгъл и въртящ момент-скорост криви и типизирането на лицата могат да послужат като основа при рутинно проследяване на силовите характеристики на футболисти, за ранно откриване на прекомерни асиметрии, оптимизиране на тренировъчните програми и превенция на травми, както и при оценка на възстановяването и рехабилитацията на футболисти след травми.

Измерването на времевите характеристики на генериране на сила, като времето за ускорение и ТРТ също може да бъде ценен инструмент при оптимизиране на тренировъчни програми. Тези параметри допълват анализа

на силовите характеристики и позволяват да се оцени не само колко сила може да генерира дадена мускулна група, но и с каква скорост тази сила се развива – фактор, който е критично важен в спортове като футбола, където бързата реакция и експлозивността са решаващи за успешното изпълнение на движения като ускорение, рязка смяна на посока или удар на топката. Резултатите от настоящото изследване показват, че футболистите демонстрират по-кратко време за ускорение на ОК в сравнение с нетренирани лица.

Адаптационни изменения бяха търсени и чрез разлики в унилатералния мускулен баланс (между флексори и екстензори на коляно). Резултатите показват, че РК при футболистите е адаптиран за по-добро ексцентрично контролиране при високи скорости - ключово при спринтове и бързи смени на посока и специфичния удар на топката при футбола. По-високите стойности при РК означават по-голяма стабилност и по-добра способност на флексорите да „спират” изместването на подбедрицата спрямо бедрената кост, намалявайки риска от травми в коляното. По-високите стойности на ФКДК при РК на футболистите отразяват спортно-специфични адаптации, свързани с подобрена ексцентрична сила и динамична стабилност на колянната става.

Резултатите от изследванията в настоящия дисертационен труд биха могли да се използват като насока за изготвяне на стандартизирани протоколи за оценка на билатерална силова асиметрия на коляно, както при футболисти, за откриване на дисбаланси, така и за рутинни тестове при здрави лица. Резултатите от анализа

на получените стойности на ПТ и коефициентите на билатерална асиметрия, при тези позиции, позволява да се определят най-подходящите, дискретни позиции, за оценяване на билатерални силови разлики. Коефициентите на билатерална асиметрия на екстензорите на коляно бяха най-високи при 80-100°, а на флексорите при 20-40°, което съвпаднаше и с диапазона на генериране на най-високи стойности на въртящия момент.

6. Заключение

Настоящият дисертационен труд представя иновативни подходи за изследване на силови характеристики и адаптационните им промени при професионални футболисти с помощта на изокинетичен динамометър. Чрез сравнителен анализ на въртящия момент, анализ на криви въртящ момент-ъгъл и въртящ момент-скорост, както и количествено оценяване на билатералната асиметрия, мускулния дисбаланс, степента на динамичен контрол и времевите характеристики на генерирането на сила става възможно установяването на конкретни адаптационни промени при професионалните футболисти. Установените типове нетренирани лица осигуряват база за сравнение при бъдещи изследвания. Типовете футболисти и подбраните позиции в коляното за определяне на билатерална силова асиметрия предлагат на треньорите и изследователите ориентир при анализа на извършените от тях тестове на екстензори и флексори на коляно, освен в изометричен режим, така и в концентричен и ексцентричен. Дисертационният труд обогатява научно-теоретичните и научно-приложните познания за динамометричното тестване при футболисти.

7. Изводи и приноси

Изводи:

1. Сравнителният анализ на антропометричния профил разкрива статистически значимо по-ниски стойности на мастна маса (kg) и по-висок относителен дял на общата мускулна маса (%) (индикатор за скелетно-мускулна маса) при професионални футболисти, спрямо нетренирани лица. Установените умерени до високи положителни корелации между мускулната маса и максималната изометрична сила на флексорите на коляното, в целия обем на движение и на екстензорите в областта 20-40°, както и по-високата мастна маса в опорния крак при нетренираните, допълнително потвърждават тези различия.

2. Чрез динамометрични измервания е установено, че при изометрични, концентрични и ексцентрични съкращения, относителната мускулна сила (Nm/kg) на екстензорите и флексорите на коляното при ритация и опорния крак на футболисти, е достоверно по-висока в сравнение с тази при нетренирани лица. Абсолютната сила (Nm) на флексорите в ексцентричен режим също е по-голяма, но при опорния крак само при ниски скорости, а при ритация – при всички скорости, което доказва адаптационни силови различия и функционална асиметрия в специализацията на двата крака.

3. Чрез въртящ момент-ъгъл зависимости и коефициенти за билатерална силова асиметрия, при нетренираните лица са дефинирани следните типове

екстензори: I – без асиметрия, II – с асиметрия и по-силен риташ крак над 80° , и III – с асиметрия в целия ъглов диапазон, с по-силен опорен крак в ляво и риташ крак в дясно на кривата. Аналогично при футболистите тези типове са А, В и С, съответно, но с билатерални различия в 62 % от екстензорите, като при тип С опорният крак е по-силен в целия обем на движение. При флексорите са дефинирани два типа, които при нетренирани са: 1 – без асиметрия и 2 – с асиметрия, и а и б при футболистите, съответно. Това типизиране позволява разграничаване на рисковете от травми при двете мускулни групи на колянната става, както при нетренирани лица, така и при професионални футболисти и предоставя детайлна, и конкретна информация за силовите дисбаланси на треньорски и медицински екипи.

4. В настоящото изследване, освен промяна в силата (въртящия момент) на определени мускулни групи, за екстензорите на риташия крак, са представени доказателства за промяна в оптималната дължина на мускулните влакна, чрез преместване на ъгъла на пиковия въртящ момент надясно в кривата въртящ момент-ъгъл, като един класически аргумент за адаптация на скелетно-мускулната функция. При футболисти с изразена силова асиметрия, изместването е от порядъка на $10-15^\circ$.

5. Установено е, че функционалният коефициент за динамичен баланс на риташия крак при футболисти е достоверно по-висок при скорост 180 и $300^\circ/\text{s}$, в сравнение с опорния крак, което доказва, че спецификата на футболната игра, свързана с високи скорости, внезапни

промени в посоката и ускорението, се осигурява от адаптацията на флексорите на ритация крак, да генерират достатъчен въртящ момент в ексцентричен режим, който да устои на този на екстензорите в концентричен.

Приноси:

1. Охарактеризиран е статичният и динамичният силов профил на екстензорите и флексорите на колянна става при футболисти, сравнен с нетренирани лица, като критерии за адаптационни изменения при този вид спорт. Представени са примерни стойности за пиков въртящ момент, коефициенти на асиметрия и времеви показатели на генерирането на сила при професионални футболисти.

2. Базирайки се на коефициенти за билатерална асиметрия и установени различия между екстензорите и флексорите на ритач и опорен крак, са дефинирани типове футболисти и типове нетренирани лица, чрез внедрен индивидуален подход, който при функционални изследвания на футболисти прецизно оценява predisposition към травми или състояния след хирургически интервенции на лигаментарния апарат на коляното.

3. За рутинно определяне на билатерална асиметрия в изометричен режим, без пълно изчерпване на обема на движение в коляното, е предложен конкретен препоръчителен обхват от ъглови позиции, който при екстензорите е $80-100^\circ$, а при флексорите – $20-40^\circ$.

8. Публикации и участия в научни форуми по темата на дисертацията

Публикации по темата на дисертацията:

1. **Ganeva, M.**, Mavrevski, R., Stambolieva, K., Milanov, P., Pencheva, N. (2023). Comprehensive assessment of bilateral knee extensor strength asymmetry in healthy nonathletes using torque–angle relationships. *Journal of Physical Education and Sport* 23 (11), 2972-2982.
<https://doi.org/10.7752/jpes.2023.11338> Q3

2. Tsvetkova-Gaberska, M., **Ganeva, M.**, Pencheva, N. (2023). Comprehensive isokinetic analysis of hamstring and quadriceps strength profiles in football players. *Journal of Physical Education and Sport*. 2023;23(10):2813-2820.
<https://doi.org/10.7752/jpes.2023.10321> Q3

Открити цитирания в достъпната литература:

1. Georgiev, T. (2025). A method to assess eccentric hamstring strength in 15 to 16-year-old football players. *Series on Biomechanics*, 39 (1), 92-100.
<https://doi.org/10.7546/SB.01.12.2025>

Участия в научни форуми по темата на дисертацията:

1. **Ganeva, M.**, Kirov, G., Pencheva, N. Isometric knee joint torque-angle relationship and strength asymmetry in kicking and support leg in football players. Scientific Conference with International Participation. “Neuroscience, Bioinformatics, Microbiome And Beyond”. 17-19 September 2019, Bachinovo, Bulgaria.

2. **Ганева, М.**, Стамболиева, К., Пенчева, Н. Коефициенти за силова асиметрия на флексори и екстензори на коляно при футболисти. Студентска научна конференция на ФОЗЗГС, 19 май 2022, Благоевград, България.

3. **Ганева, М.**, Пецева, Ю., Манчев, А., Пенчева, Н. Силова асиметрия на мускулите на коляното и антропометричен профил на футболисти преди подготвителен период: обсъждане на случаи. Студентска научна конференция на ФОЗЗГС, 19 май 2022, Благоевград, България.

4. **Ganeva, M.**, Stambolieva, K., Pencheva, N. Lower limbs bilateral asymmetry of knee extensors in healthy men. National Scientific Conference “75 Years Institute Of Neurobiology”, 15-16 December 2022, Sofia, Bulgaria.

5. Цветкова-Габерска, М., **Ганева, М.**, Пенчева, Н., Стоянов, С. Динамометрична оценка на силови характеристики в колянна става при футболисти. Шеста балканска научна конференция „Наука – образование – изкуство през 21-ви век“, 28 - 30 септември 2023, Варна, България.