РЕЗУЛЬТИРУЮЩИЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТРЕНИРОВОЧНОЙ НАГРУЗКИ ВО ВРЕМЯ СТАНДАРТНОГО МИКРОЦИКЛА В СУБЭЛИТНОМ ЮНОШЕСКОМ ФУТБОЛЕ: ПОДХОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Josë Eduardo Teixeira[1,2,3], Pedro Forte[1,2,4], Ricardo Ferraz[1,5], Lu^s Branquinho[1,4], Ryland Morgans[6], Antonio Josë Silva[1,7], Antonio Miguel Monteiro[1,2] and Tiago M. Barbosa[1,2]

[1] Research Centre in Sports, Health and Human Development, Covilha, Portugal
[2] Department of Sport Sciences, Instituto Politecnico de Bragan^a, Bragan^a, Portugal
[3] Department of Sport Sciences, Polytechnic Institute of Guarda, Guarda, Portugal
[4] CI-ISCE Douro, Higher Institute of Educational Sciences of the Douro, Penafiel, Portugal
[5] Department of Sport Sciences, University of Beira Interior, Covilha, Portugal
[6] Institute for Coaching and Performance, University of Central Lancashire, Preston, United Kingdom
[7] Sport Sciences, University of Tras-os-Montes and Alto Douro, Vila Real, Portugal

КРАТКИЙ ОБЗОР

Применение методов сокращения объема данных для извлечения значимой информации из электронных систем отслеживания результатов (EPTS) стало актуальной темой в мониторинге тренировочной нагрузки по футболу (TL). Целью этого исследования было уменьшить размерность показателей внутренней и внешней нагрузки с помощью подхода главных компонентов, чтобы описать и объяснить результирующие уравнения для мониторинга TL во время стандартного межсезонного микроцикла в субэлитном юношеском футболе. Кроме того, предполагается определить наиболее репрезентативный показатель для каждого основного компонента. Был проведен анализ основных компонентов (PCA) с использованием параллельного анализа по методу Монте-Карло и ротации VariMax для извлечения исходных характеристик, внешнего TL, показателей частоты сердечных сокращений (ЧСС) и воспринимаемой физической нагрузки. Данные о тренировках были собраны у шестидесяти юных футболистов субэлитного уровня в течение 6-недельного периода тренировок с использованием глобальной системы позиционирования (GPS) с

частотой 18 Гц с инерциальными датчиками, системы телеметрии ближнего действия частотой 1 Гц, общего восстановления качества (TQR) и оценки воспринимаемой нагрузки (RPE). На пять основных компонентов приходилось 68,7% от общей дисперсии, объясненной в данных тренировочного процесса. Результирующие уравнения PCA были разделены на: (1) взрывоопасность, ускорения и удары (27,4%); (2) бег на высокой скорости (16,2%); (3) показатели, основанные на ЧСС (10,0%); (4) базовые характеристики (8,3%); и (5) средние скорость бега (6,7%). Учитывая наивысший коэффициент в каждом основном компоненте, торможения (PCA 1), дистанция спринта (PCA 2), средний ЧСС (PCA 3), паспортный возраст (PCA 4) и максимальная скорость (PCA 5) являются условными параметрами, которые следует учитывать при мониторинге TL во время стандартного микроцикла у юных футболистов субэлитного уровня. Текущее исследование предоставляет первые составные уравнения для извлечения наиболее репрезентативных компонентов в течение стандартного межсезонного микроцикла у молодых футболистов субэлитного уровня. Будущие исследования должны расширить результирующие уравнения в течение тренировочных дней, рассмотрев другие показатели самочувствия, технико-тактические навыки и контекстуальные факторы, связанные с матчем.

Темы Кинезиология, Спортивная травма, Спортивная медицина

Ключевые слова Молодежь, Рабочая нагрузка, Футбол, Глобальная система позиционирования, PCA

ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг тренировочной нагрузки (TL) стал актуальной темой исследований в юношеском футболе (Impellizzeri и др., 2022; Staunton и др., 2021). Во многом это связано с растущим доступом к электронным системам оценки эффективности и отслеживания (EPTS), которые обеспечивают достоверные показатели TL (de Dios-Alvarez и др., 2021; Oliva-Lozano & Muyor, 2022). В последние годы еженедельные колебания TL были тщательно проанализированы в контексте элитного и субэлитного футбола (Teixeira и др., 2022a). Мониторинг тренировок широко проводился с использованием объективных и субъективных методов для мониторинга внутренней тренировочной нагрузки (ITL) и внешней тренировочной нагрузки (ETL) (Impellizzeri и др., 2022). Устройства глобальной системы позиционирования

(GPS) стали обычной, недорогой и оптимальной навигационной спутниковой системой для получения достоверных результатов ETL (например, расстояния, спринты, ускорения (ACC), изменение направления или столкновения игроков) (Beato и др., 2018; Buchheit и др., 2021). В противном случае ITL обычно контролировался по частоте сердечных сокращений (ЧСС) и воспринимаемой физической нагрузке с использованием неинвазивных носимых сенсорных систем, шкалам оценки воспринимаемой физической нагрузки (RPE) и общего восстановления качества (TQR) (Haddad и др., 2017; Brink и др., 2010). Исследование показало значительную корреляцию между ETL и ITL у молодых спортсменов, однако по-прежнему трудно интерпретировать состояние восстановления физической формы (Impellizzeri и др., 2022). Сообщалось, что сочетание ETL и ITL является эффективной стратегией для анализа несоответствий в зависимости доза-реакция, однако основной влияющий фактор еще предстоит определить (Bourdon и др., 2017; Teixeira и др., 2021a).

Кроме того, новые инструменты отслеживания, по-видимому, привели к путанице в рассмотрении зависимости доза-эффект, учитывая необходимость анализа данных для извлечения соответствующей информации из больших объемов данных (Griffin и др., 2021; Scantlebury и др., 2020). Такого рода устройства слежения могут предоставлять большие наборы информации, выраженные в виде тысячи данных в секунду и большим количеством переменных в зависимости от используемой технологии перемещения во времени (Rojas-Valverde и др., 2020; Ruan и др., 2022). В других случаях, ещё одна проблема заключалась в стандартизации физических и психофизиологических данных в виде значимой информации (Impellizzeri и др., 2022; Staunton и др., 2021; Vanrenterghem и др., 2017). Кроме того, фиксация переменных частоты тренировок, интенсивности, времени/длительности, типа, объема и прогрессии (FITT-VP) является еще одной важной задачей, создаваемой системами отслеживания (Staunton и др., 2021; Scantlebury и др., 2020). Таким образом, как никогда важно превратить наборы данных в релевантную информацию для цикла мониторинга спортсменов (Teixeira и др., 2021a; Weaving и др., 2019). Впоследствии методы сокращения данных были применены для объяснения размерности переменных TL в различных видах футбола, таких как футзал (Rico-Gonzalez и др., 2022a), Австралийский футбол (Sheehan и др., 2020), регби (Scantlebury и др., 2020; Weaving и др., 2020) и гэльский футбол (Гэмбл и др., 2019).

Анализ главных компонент (PCA) является одним из наиболее часто

используемых методов сокращения объема данных для извлечения избыточной информации из данных TL в футболе (Rico-Gonzalez и др., 2022b; Rojas-Valverde и др., 2020). Используя подход PCA, можно извлечь значительный процент от общей дисперсии в наборе данных (Warmenhoven и др., 2019). Таким образом, анализ PCA позволяет снизить сложность в большой группе коррелированных переменных путем определения основных компонентов (O'Donoghue, 2008; Rojas-Valverde и др., 2020). Недавно систематический обзор, проведенный в футболе, сообщил о 77,1% объясненной дисперсии в 12,8 извлеченных переменных из 51,4 переменных, распределенных по 6,4 основным компонентам (Rojas- Valverde и др., 2020). Однако, исследования с использованием подходов PCA были сосредоточены главным образом на мониторинге TL в профессиональном и элитном молодежном футболе (Casamichana и др., 2019; Scantlebury и др., 2020; Sheehan и др., 2020). До сих пор подходы PCA применялись только в элитном футболе для упрощения TL с учетом различных игровых форматов (Casamichana и др., 2019; Zurutuza и др., 2020) контекстуальных факторов (Goncalves и др., 2019; Oliva-Lozano и др., 2021), соревновательного уровня (Ricotti и др., 2013), позиционной роли (Moura и др., 2015) тактического поведения (Ric и др., 2016; Rico-Gonzalez и др., 2022b) и двигательных навыков (Los Arcos, Mendiguchia и Javieri, 2017). Недавно в некоторых исследованиях было описано применение стратегий мониторинга TL в течение недельного микроцикла в субэлитном молодежном футболе, что выражается в низкой сезонной вариации и высокой недельной вариации (Teixeira и др., 2021b, 2022b). Следовательно, важно установить основной влияющий фактор для точного контроля тренировки и манипуляций во время стандартного микроцикла. Кроме того, оптический мониторинг TL может способствовать правильному долгосрочному развитию спортсменов, профилактики травм и планированию тренировок (Pino-Ortega и др., 2021; Rico-Gonzalez и др., 2022c; Rojas-Valverde и др., 2020). Более конкретно, это может помочь исследователям, практикующим специалистам и тренерам назначать адекватную интенсивность тренировок в течение стандартного микроцикла в юношеском футболе (Rico- Gonzalez и др., 2022a). Поэтому крайне важно стандартизировать и уменьшить размерность данных о еженедельных тренировках молодых футболистов из субэлитной среды (Teixeira и др., 2022c; Trecroci и др., 2018). Таким образом, целью данного исследования было уменьшить размерность показателей внутренней и внешней нагрузки с помощью подхода PCA, чтобы описать и объяснить результирующие уравнения

для мониторинга TL во время стандартного микроцикла у юных футболистов субэлитного уровня. Кроме того, предполагается определить наиболее репрезентативный показатель для каждого основного компонента.

МЕТОДЫ

Испытуемые

В это исследование были включены шестьдесят субэлитных юношей и футболистов мужского пола из субэлитных молодежных футбольных академий в возрасте до (U) 15 (n = 20), U17 (n = 20) и U19 (n = 20) (таблица 1). Все родители или законные опекуны были письменно проинформированы о целях исследования и рисках, предоставив письменное согласие на включение спортсмена в исследование. Исследование было разработано в соответствии с Declaration of Helsinki (Winter & Maughan, 2009) с этическим одобрением местного этического комитета University of Tras-os-Montes e Alto Douro (3379-5002PA67807).

Квазиэкспериментальный подход

Текущее исследование имеет перспективную, наблюдательную и поперечную структуру, применяя индивидуальную стратегию TL с помощью технологии GPS, системы мониторинга HR, шкал RPE и TQR. Результирующие уравнения для мониторинга TL в субэлитном юношеском футболе были получены с помощью подхода PCA. Еженедельный TL непрерывно отслеживался в течение сезона 2019-2020 годов, что составляет в общей сложности 6-недельный период из 18 тренировок и 324 случаев наблюдения (Teixeira и др., 2021b, 2022d). Для проведения анализа PCA было обеспечено минимум 150 случаев наблюдения (т.е. от 5 до 10 случаев на переменную) (Jolliffe & Cadima, 2016). На рис. 1 кратко представлены процедуры для квазиэкспериментального подхода.

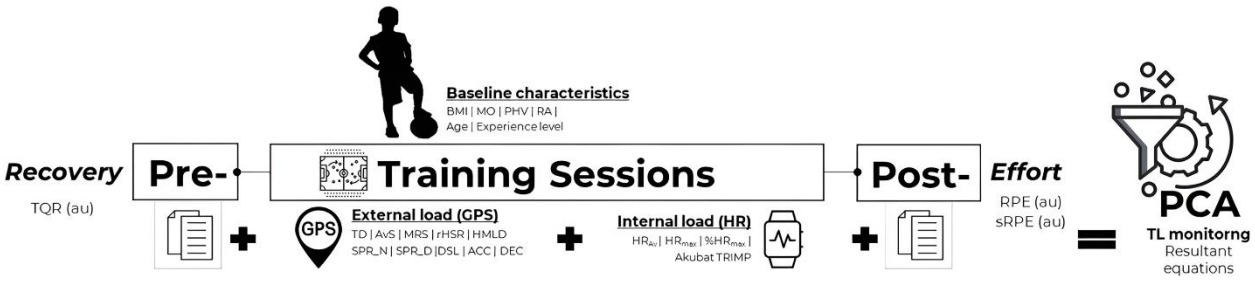

Рис. 1. Мониторинг тренировочной нагрузки с использованием перспективного, наблюдательного и поперечного анализа**.**

Full-size DOI: 10.7717/peerj.15806/fig-1

Таблица 1 Описание базовых характеристик участников.

Переменные	**U15 (n = 20)**	**U17 (n = 20)**	**U19 (n = 20)**	**Общий (*n* = 60)**
Возраст (y)	13.28 ± 0.49	15.39 ± 0.51	17.29 ± 0.55	15.19 ± 1.75
RA (a.u.)	0.25 ± 0.17	0.25 ± 0.17	0.24 ± 0.20	0.25 ± 0.18
MO (a.u.)	-0.42 ± 0.76	2.02 ± 1.09	2.23 ± 1.49	1.33 ± 1.67
Рост (м)	1.69 ± 0.78	1.76 ± 0.48	1.76 ± 0.70	1.74 ± 0.08
Вес (кг)	55.67 ± 9.41	64.28 ± 6.61	68.90 ± 8.39	62.48 ± 10.03
BMI (kg/m^2)	19.29 ± 1.99	20.68 ± 1.79	22.11 ± 1.50	20.61 ± 2.14
Рост в положении сидя (см)	81.96 ± 5.78	92.02 ± 7.61	90.73 ± 8.06	88.36 ± 8.51
PHV (см)	14.18 ± 0.80	13.90 ± 1.09	14.46 ± 1.87	14.20 ± 1.39
Опыт (y)	4.82 ± 0.90	6.64 ± 1.65	8.81 ± 1.70	6.76 ± 1.42

Сокращения: a.u. - произвольная единица измерения; BMI - индекс массы тела; MO - смещение зрелости; PHV - максимальная скорость роста; RA - относительный возраст; y - годы.

ПРОЦЕДУРЫ

При отборе данных о тренировках учитывались следующие критерии включения: (a) юношеские футболисты в возрасте от 13 до 20 лет (т.е. U15, U17 и U19) (Teixeira и др., 2021a); (б) юные футболисты должны иметь не менее 5 лет соревновательного опыта в футболе (Ford и др., 2020); (c) данные о тренировках включали не менее 35 игровых минут подряд без перерыва из-за травмы, ухода с поля или по другой произвольной причине (de Dios-Alvarez и др., 2021); (d) данные о тренировках учитывали соревновательный график с одной игрой в неделю и тремя тренировочными сессиями в неделю (Teixeira и др., 2021b, 2022a). Исключение случаев имело место, когда были соблюдены следующие критерии: (a) случай отсутствия, травмы, болезни и отход от тренировок во время контролируемых тренировок; (б) игроки, которые не были включены в общую командную тренировку из-за реабилитации, дополнительных и/или индивидуальных тренировок; (в) матчевые данные не были включены в анализ (Teixeira и др., 2022d).

Для ETL и ЕГО мониторинга каждый участник носил микротехнологии (например, GPS и HR) в маленьком кармане на верхней части спины между лопатками, изготовленного на заказ жилета (Beato и др., 2018). Все методологические процедуры для ETL и ITL ранее применялись в течение 2 недель для ознакомления игроков со сбором данных (de Dios-Alvarez и др., 2021).

Таблица 2. Недельный стандартный микроцикл в выборочной субэлитной юношеской футбольной академии

Компонент	**MD-3 (Вторник)**	**MD-2 (Среда)**	**MD-1 (Пятница)**
Цель (тактическая)	Восстановление/ Технические навыки	Приобретательный тренинг, ориентированный на принципы игры (коллективное поведение и организация)	Завершающие ситуации и тактические схемы
Продолжительность	90 мин	90 мин	90 мин
Величина	50 м x 60 м (половина поля)	100 м x 60 м (полное поле)	50 м x 60 м (половина поля)
Физиологический набор	75-80% HR_{max}	90-95% HR_{max}	>85% MRS
SAQ	Сила (быстрота, TPECK и ловкость)	Выносливость/Аэробная	
Разминка	Технические навыки и координация	Динамическое растяжение	Скорость
Тренировочные задачи	(1) SSG, MSG, и владение мячом (небольшие площадки); (2) Индивидуальное занятие для совершенствования умений и навыков специальной подготовки (*i.e.*, 1v1 to 3v3).	(1) Владение мячом, LSG и симуляция игр; (2) Игровая стратегия.	(1) Завершающие упражнения (т.е. индивидуальные, отдельные и перекрёстные ситуации: (2) 1 x 0 + GK to 11 x 0 + GK); (3) Тактические схемы (т. е. внешние и углы).

Примечание: Сокращения: COD – изменение направления скорости; GK - вратарь; HRmax - максимальная частота сердечных сокращений; LSG - игры на полях большого размера; MD - формат "день матча минус"; MSG – игры на полях средних размеров; MRS - максимальная скорость бега; PHV – пиковый показатель высокой скорости ; SAQ - скорость, ловкость и быстрота; SSC - цикл сокращения растяжения; SSG – на полях малого размера.

Используя формат «день матча минус» (MD), еженедельный микроцикл включал тренировки MD-3 (Вторник), MD-2 (Среда) и MD-1 (Пятница). Количество наблюдений за каждый тренировочный день составило: MD-3 (n = 41), MD-2 (n = 38) и MD-1 (n = 44) (Teixeira и др., 2022d, 2021b). Тренировочные дни для трех возрастных групп были одинаковыми в следующем порядке: U15 — с 18:00 до 19:30, U17 — с 19:30 до 21:00 и U19 — с 21:00 до 22:30. Средняя продолжительность тренировок для каждой возрастной группы была следующей: U15 = 148,99 мин, U17 = 132,46 мин, U19 = 195,95 мин. Медицинский персонал и сотрудники материально-технического

обеспечения следили за тем, чтобы во всех учебных классах была стандартная одежда, питание и медицинское обслуживание во время учебных занятий (Teixeira и др., 2022d). Все тренировки проводились на открытом поле с синтетическим покрытием официальных размеров (стандарт FIFA; 100 м x 70 м) и аналогичными условиями окружающей среды (т.е. 14-20°C; относительная влажность 52-66%) (Coutinho и др., 2015).

Таблица 3 Построение, описание и формулы из внешней и внутренней тренировочной нагрузки.

TL	Constructs	Variable	Description and formula
ETL	Общая дистанция	TD (m)	Общая пройденная дистанция (в метрах)
	Средняя скорость бега	AvS ($m \cdot min^{-1}$)	Темп игры или средняя скорость прохождения дистанции в метрах/минуты.
		MRS ($m \cdot s^{-1}$)	Максимальная скорость м/сек
	Высокоинтенсивный бег	rHSR (m)	Дистанция (м) высокоскоростного бега (rHSR), пройденная со скоростью 19.8–25.1 ка/ч.
		SPR (n | m)	Спринты измерялись по количеству и средней спринтерской дистанции (м) со скоростью >25,1 км/ч
	Действия взрывного характера, ускорения и столкновения	HMLD (m)	Дистанция с высокой метаболической нагрузкой (HMLD), это метаболическая переменная, определяемая как расстояние, выраженное в метрах, пройденное игроком, когда метаболическая мощность превышает 25,5 Вт/кг.
		DSL (au)	DSL был рассчитан путем измерения суммы ускорений по трем ортогональным осям движения (выраженной в виде силы G > 2G).
		ACC | DEC ($m \cdot s^{-2}$)	Количество ускорений (>3 m^s^{-2}) и торможений.
ITL	HR	HRmax (bpm)	Максимальная ЧСС (HR_{max})
		AvHR (bpm)	Среднее ЧСС (AvHR).
		%HRmax	Процент от HRmax (%HRmax)
		TRIMP (au)	Akubat TRIMP (iTRIMP) = Продолжительность тренировки x 0.2053e3.5179x. Где e = Napierian логарифмы, 3.5179 - показатель степени и x = показатель ЧСС.
	Воспринимаемое напряжение и восстановление	RPE (au)	Воспринимаемое напряжение измерялось по 15-балльной португальской шкале оценки воспринимаемого напряжения Borg 6-20 (Borg RPE 6-20).
		sRPE	sRPE был получен путем умножения общей продолжительности тренировочных сессий на каждый индивидуальный балл RPE.
		TQR (au)	Чтобы следить за восстановлением, каждого игрока попросили сообщить оценку TQR по шкале от 6 до 20.

Аббревиатуры: ACC - ускорение; AvHR - средняя частота сердечных сокращений; AvS - средняя скорость; DEC - торможение; HTML - дистанция с высокой метаболической нагрузкой; HRmax - максимальная частота сердечных сокращений; MRS - максимальная скорость бега; SPR - средняя спринтерская дистанция; SPR_N - количество спринтов; sRPE - оценка воспринимаемой нагрузки за тренировочный сеанс; TD - общая дистанция; TL - тренировочная нагрузка; TQR - полное восстановление качества; TRIMP - тренировочный импульс.

Еженедельный стандартный микроцикл

В таблице 2 представлен обзор еженедельных тренировок в изучаемой субэлитной молодежной футбольной академии. Стандартный микроцикл был спланирован в соответствии со следующими ключевыми моментами: (i) цели тренировки, продолжительность времени и размеры поля; (ii) физиологическая цель и акцент на скорость, ловкость и быстроту (SAQ); (iv) тренировочные задачи и упражнения. Еженедельный обзор тренировок был разработан в соответствии с полевыми заметками и моделью тренировочного процесса в академии. Кроме того, текущий типичный микроцикл был разработан во время стандартного межсезонного микроцикла с вышеупомянутыми тренировочными днями (т.е. MD-3, MD-2 и MD-1) (Branquinho, Ferraz & Marques, 2021; Rago и др., 2020). Игры на полях малых, средних, больших размеров и имитационные игры (т.е. SSG, MSG, LSG) были классифицированы в соответствии с Zurutuza и др., (2020). Тренировка SAQ была классифицирована Trecroci и др., (2016) для субэлитных футболистов.

Показатели тренировочной нагрузки

В таблице 3 описаны конструкция, единица измерения и формула для каждого ETL и ITL показателя. Все конструкции были рассмотрены в соответствии с предыдущими отчетами, основанными на TL, а именно: (i) общая дистанция (TD); (ii) средняя скорость бега; (iii) высокоскоростной бег (HSR); (iv) действия взрывного характера, ACC и столкновения; (v) показатели, основанные на HR и (vi) воспринимаемое напряжение и восстановление (Rico-Gonzalez и др., 2022a; Sheehan и др., 2020; Teixeira и др., 2021a).

Измерения внешней нагрузки

ETL отслеживался с использованием глобальной системы позиционирования (GPS) с частотой 18 Гц в сочетании с акселерометром (100 Гц), магнитометром (10 Гц) и гироскопом (100 Гц) (STATSports Apex ®, Северная Ирландия) (Buchheit и др., 2021). При наличии надежного спутникового сигнала все устройства были включены за 30 минут до сбора тренировочных данных (Beato и др., 2018; Buchheit и др., 2021). Точность устройств GPS Apex ® была хорошей (погрешность 5%) (Beato и др., 2018). Показатели ETL были следующими: пройденная дистанция TD (м), средняя скорость (AvS (м/мин)), максимальная скорость бега (MRS (м/с)), дистанция (м) относительного

высокоскоростного бега (rHSR (м): 19,8-25,1 км/ч), дистанция с высокой метаболической нагрузкой (HMLD (м) > 25,5 Вт/кг), количество спринтов (n) и средняя спринтерская дистанция (SPR (м) (>25,1 км/ч)) (м), динамическая стрессовая нагрузка (DSL (a.u.)), количество ACC (>3 м/с$^{-2}$) и количество торможений (DEC < 3 м/с$^{-2}$) (Teixeira и др., 2021b, 2022a) (таблица 3).

Внутренние показатели тренировочной нагрузки

ITL были получены с помощью RPE, TQR и мониторов HR. Диапазон измерения ЧСС Garmin ® TM (Garmin Ltd ® , International Ltd., Olathe, KS, USA) использовался для регистрации измерений ЧСС с использованием телеметрической системы ближнего действия частотой 1 Гц (Gomez-Carmona и др., 2020). Отслеживались максимальная частота сердечных сокращений (HRmax), средняя частота сердечных сокращений (HRmean), процентное соотношение HRmax (% HRmax) и тренировочный импульс отдельных игроков (TRIMP) (Akubat и др., 2012; Branquinho, Ferraz & Marques, 2021). Тест Yo-Yo на прерывистое восстановление уровня 1 (YYIR1) использовался для определения HRmax (Bangsbo, Iaia & Krustrup, 2008). Для оценки воспринимаемых усилий использовались 15-балльная португальская Borg шкала RPE 6-20 (Cabral и др., 2020) и оценка TQR 6-20 (Brink и др., 2010; Kentta & Hassmen, 1998). Общее время тренировок для каждого участника было умножено, чтобы получить RPE тренировочной сессии (sRPE = RPE x продолжительность сессии). Индивидуальные RPE и TQR были взяты через 30 минут после и перед каждой тренировкой соответственно. Игроки уже были ознакомлены с процедурами RPE, представив отчеты в электронной таблице Microsoft Excel ® (Microsoft Corporation ®, Redmond, Вашингтон, США) (Teixeira и др., 2021b, 2022a) (таблица 3).

Базовые характеристики

Индивидуальные характеристики игроков были собраны по росту (м), весу (кг), паспортному возрасту (годы), росту в положении сидя (см) и уровню опыта (годы). Антропометрические показатели были измерены с использованием стандартных рекомендаций Международного общества содействия развитию кинантропометрии (ISAK) (Marfell-Jones и др., 2006). Массу тела (кг) оценивали с минимальным количеством одежды с помощью электронных весов Tanita MC 780-P MA ® (Tanita Corporation, Токио, Япония). Рост (см) определяли с

помощью электронного стадиометра (Seca, Гамбург, Германия). Рост игроков (м), вес (кг) и высота в положении сидя (см) были записаны путем усреднения трех измерений с точностью до 0,1 с использованием международных единиц измерения (IU). Индекс массы тела (BMI) рассчитывали путем деления веса на квадрат роста (кг/м^2). Использовались следующие пороговые значения BMI: недостаточный вес < 18,5 кг/м^2, нормальный 18,50-24,99 кг/м^2, избыточный вес > 25 кг/м^2, ожирение > 30 кг/м^2 (Suarez-Arrones и др., 2018). Относительный возраст (a.u.) был рассчитан как разница между датой рождения игрока и датой завершения сбора данных (31 августа), деленная на количество 365 дней в году (Hill и др., 2020). На основе прогностического набора уравнений Mirwald были рассчитаны смещение зрелости и пик скорости роста (PHV) (Mirwald и др., 2002; Teixeira и др., 2022a). Субэлитный юношеский футбол был разделен на до-PHV (n = 52), в середине-PHV (n = 65) и после-PHV (n = 207).

Результирующие уравнения для мониторинга тренировочной нагрузки

Основными индивидуальными компонентами в результирующих уравнениях для мониторинга TL были: низкий-умеренный объем, высокая интенсивность, действия взрывного характера, изменение направления, столкновения и удары по телу. (Rico-Gonzalez и др., 2022a; Sheehan и др., 2020; Teixeira и др., 2021a). Кроме того, в результирующие уравнения были добавлены базовые характеристики (т.е. антропометрический статус и статус зрелости) и показатели ITL (de Dios-Alvarez и др., 2021; Suarez-Arrones и др., 2018). Таким образом, результирующие уравнения, вычисленные с помощью подхода PCA, могут быть выражены следующим алгоритмом (Jolliffe & Cadima, 2016):

$$PCA_n = \sum \Phi i_1 \times x_i + \Phi i_2 \times x_2(\ldots)\Phi i_n \times x_n$$

где PCA_n является основным компонентом, Ф - вектор нагрузки, содержащий нагрузки (i_1, i_1 …) первого основного компонента. Нагрузки должны иметь сумму квадратов, равную ровно единице. Это связано с возможностью значительных колебаний при больших нагрузках.

Так же определяется, как будет перемещаться основной компонент (PCA_n), вдоль которого данные изменяются больше всего (Jokiniemi, Pietila & Mikkonen, 2021) Результатом является линия, которая ближе всего к n наблюдениям в p-мерном пространстве. Для оценки близости используется евклидово расстояние

в квадрате; xn - нормализованные предикторы. Нормализованные предикторы (xn) имеют средние значения, равные нулю, и стандартные отклонения, равные единице (Jokiniemi, Pietila и Mikkonen, 2021; Jolliffe и Cadima, 2016). Результирующее уравнение для количественной оценки взвешенного TL было выражено следующим образом:

$$TL_{weekly} = \sum PCA_1 + PCA_2(\ldots)PCA_n$$

где еженедельный TL, это сумма каждого PCA (p) и его взвешенного вектора нагрузки (Jolliffe & Cadima, 2016).

Статистический анализ

Методика сокращения данных была проведена с использованием анализа главных компонент (PCA) с 95% доверительными интервалами (95% CI) (Pino-Ortega и др., 2021; Rojas-Valverde и др., 2020). Для определения количества извлеченных факторов был проведен Monte Carlo параллельный анализ (Jokiniemi, Pietila & Mikkonen, 2021). Z-баллы были рассчитаны для масштабирования и центрирования переменных окончательного отбора для PCA с использованием значений Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) для измерения адекватности выборки и Bartlett теста сферичности (Bartlett Sphericity test) для обеспечения того, чтобы отобранные тренировочные данные были пригодны для сокращения данных. Факторный анализ был приемлем, когда значения KMO превышали 0,6, а Bartlett сферичность была меньше 0,05 (Pino-Ortega и др., 2021). Количество PCA, подлежащих сохранению, было определено с использованием графика осыпи для производных собственных значений коэффициента, учитывая собственные значения, превышающие 1 (Rojas-Valverde и др., 2020). Загрузка компонентов фактора была вычислена с использованием ортогонального вращения методом VariMax из-за перпендикулярности корреляционной матрицы интересующих переменных (Warmenhoven и др., 2019). Критерии отбора для выделения некоррелированных переменных были выполнены при $r < 0,4$ (Rojas-Valverde и др., 2020). Весовые коэффициенты (собственные векторы) представлены в виде двумерного графика, а результаты PCA представлены в виде анализа траектории. Размер выборки был рассчитан с помощью G*Power, версия 3.1.5.1 (Институт экспериментальной психологии, Дюссельдорф, Германия) с размером

эффекта β = 0,4, α = 0,05, и степенью 0,8 (1- β) (Teixeira и др., 2022a). Для оценки нормальности и однородности использовали критерий теста Kolmogorov-Smirnov and Levene. Статистическая значимость была установлена на уровне $p < 0,05$. Данные представлены в виде среднего ± SD с использованием программного обеспечения JASP (JASP Team, 2022; jasp-stats.org).

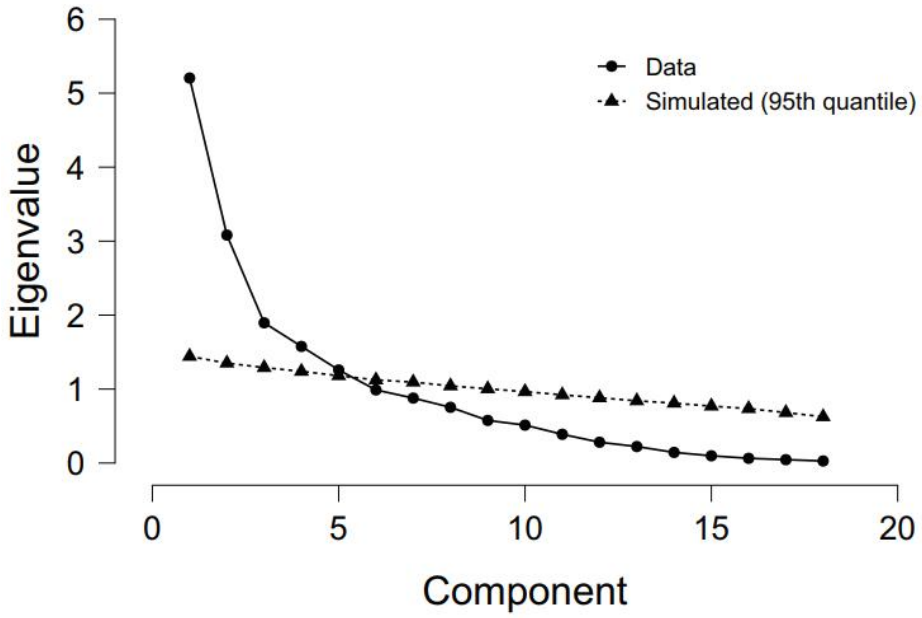

Рис. 2. График собственных значений для анализа основных компонентов, представляющий компонент, объясняемую дисперсию и собственные значения.
Full-size DOI: 10.7717/peerj.15806/fig-2

РЕЗУЛЬТАТЫ

Процедура сокращения данных, собственное значение и номер компонента

На рисунке 2 представлено собственное значение в диапазоне от 1,44% до 5,21%. В целом, на пять PCA приходилось 68,6% от общей объясненной дисперсии. Пять извлеченных PCA объяснили 27.4%, 16.2%, 10.0%, 8.3% и 6,7% дисперсии в наборе данных TL соответственно. Таким образом, первый PC объяснил 27,4% TL с помощью TD, HTML, DSL, ACC и DEC. Второй PCA объяснил 16,2% TL, через HSRr and SPR. Третий PCA объяснил 10,0% TL через HRmax, AvHR, %HR и TRIMP. Четвертый PCA объяснил 8,3% от исходного уровня (т.е. sRPE, TQR, смещение созревания и хронологический возраст). Пятый PCA

объяснил 6,7% накопленного TL (т.е. AvS и MRS). Постоянно из PCA исключались PHV, относительный возраст, уровень опыта и BMI ($r < 0,4$).

В таблице 4 также показана процедура сокращения данных, полученная в результате вращения матрицы компонентов для накопленных переменных TL с факторными нагрузками компонентов (собственными векторами). Четыре переменные были исключены из PCA из-за общности ниже 0,4 (т.е. PHV, относительный возраст, уровень опыта и BMI). Кроме того, критерии KMO указывали на адекватность выборки отобранных данных, сообщая о значительной доле дисперсии в результате лежащих в основе факторов (KMO = 0,73). Кроме того, показатели теста сферичности Barlett был значимым ($p < 0,001$).

Таблица 4 Анализ основных компонентов: процедура сокращения данных с использованием varimax для матрицы повёрнутых компонентов с факторными нагрузками (собственными

Переменные	**PC1**	**PC2**	**PC3**	**PC4**	**PC5**	**Единственность**
TD (m)	0.698					0.365
AvS ($m \cdot min^{-1}$)					0.680	0.321
MRS ($m \cdot s^{-1}$)					0.790	0.259
HSRr (m)		0.928				0.041
HMLD (m)	0.788	0.501				0.123
SPR (n)		0.895				0.088
SPR (m)		0.940				0.066
DSL (au)	0.705					0.465
ACC ($m \cdot s^{-2}$)	0.844					0.233
DEC ($m \cdot s^{-2}$)	0.877					0.184
HRmax (bpm)			0.763			0.366
HRAv (bpm)			0.967			0.055
%HRmax			0.953			0.081
TRIMP (au)			0.692			0.501
sRPE (au)				-0.516		0.629
TQR (au)				-0.553		0.676
OFFSET (y)				0.669		0.343
Age (y)				0.836		0.261

векторами) >0,4.

Аббревиатуры: ACC-ускорение; AvHR-средняя частота сердечных сокращений; AvS-средняя скорость; DEC-торможение; HTML-дистанция с высокой метаболической нагрузкой; HRmax-максимальная частота сердечных сокращений; MRS-максимальная скорость бега; SPR-средняя дистанция спринта; SPR_N- количество спринтов; sRPE-оценки воспринимаемой нагрузки за сеанс; TD-общая дистанция; TQR- полное восстановление качества; TRIMP-тренировочный импульс.

Результирующие уравнения и траектории из анализа основных компонентов

Весовые коэффициенты (собственные векторы) анализа PCA представлены графиком траектории на рис. 3. В целом, весовые коэффициенты варьировались от -0,52 до 0,97. Самые высокие значения веса наблюдались в AvHR (bpm) (PCA 3), а самые низкие - в sRPE (au) (PCA 4). Учитывая наивысший коэффициент в каждом основном компоненте, рассматриваемыми переменными были TD (0,698), SPR (0,940), AvHR (0,967), возраст (0,836) и MRS (0,790) для PCA 1 - PCA 5.

Результирующие уравнения из извлеченного главного компонента представлены в таблице 5. Исходя из этого, результирующие уравнения для мониторинга TL в течение недельного микроцикла могут быть выражены в виде пяти основных компонентов, определяющих уравнения для базовых переменных: (1) взрывоопасность и воздействия, (2) HSR, (3) Показатели HR, (4) исходные характеристики, (5) средняя скорость бега.

ОБСУЖДЕНИЕ

Целью этого исследования было уменьшить размерность показателей внутренней и внешней нагрузки с помощью подхода PCA, чтобы описать и объяснить результирующие уравнения для мониторинга TL во время стандартного микроцикла у юных футболистов субэлитного уровня. Кроме того, предполагается определить наиболее репрезентативный показатель для каждого основного компонента. После сокращения данных из набора данных TL были извлечены пять основных компонентов, объясняющих 68,7% общей дисперсии. Показателями TL с наибольшим весом в каждом PCA были DEC, дистанция SPR, среднее значение ЧСС, хронологический возраст и MRS.

Результирующие уравнения для мониторинга TL во время стандартного микроцикла в субэлитном юношеском футболе были разделены на: (1) взрывоопасность, ACC и удары (27,4%); (2) HSR (16,2%); (3) показатели, основанные на частоте сердечных сокращений (10,0%); (4) базовые характеристики (8,3%); (5) средняя скорость бега (6,7%). Учитывая самый высокий репрезентативный фактор в каждом основном компоненте, рассматриваемыми переменными были DEC (PCA 1), дистанция SPR (PCA 2),

средняя ЧСС (PCA 3), паспортный возраст (PCA 4) и MRS (PCA 5). В футболе Pino-Ortega и др. ((2021) также определили условные измерения, такие как угловая скорость, скоростные перемещения, HMLD, HSR, SPR, пройденный TD, метаболическая мощность, DSL, прыжки, удары, ACC и DEC. Первый PCA соответствует TD, HMLD, DSL, ACC и DEC, будучи сгруппирован по взрывоопасности, ACC и ударам. Хотя существует определенная корреляция между ударами тела, ACC и DEC. С другой стороны, TD может быть обусловлен обратной зависимостью между объемом тренировки и интенсивностью (Castillo и др., 2020).

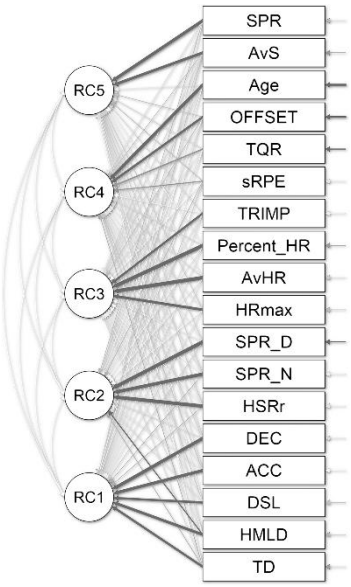

Рисунок 3 Анализ основных компонентов и взвешивания (собственные векторы) были представлены в виде траектории.

Полноразмерный DOI: 10.7717/peerj.15806/fig-3

Таблица 5 Результирующие уравнения из извлеченного анализа главных компонент.

	Структура	Переменные	Вычисления
1	Взрывоопасность, ускорения и удары	TD (m), HMLD (m), DSL (au), ACC (>3 $m<^{2}$), DEC (<3 $m \cdot s^{-2}$)	0.698 x TD (m) + 0.788 x HMLD (m) + 0.705 x DSL (au) + 0.844 x ACC ($m<^{2}$) + 0.877 x DEC ($m<^{2}$)
2	Высокоинтенсивный бег	rHSR (19.8-25.1 $km \cdot h^{-1}$), SPR (n), SPR (m)	0.928 x rHSR ($km \cdot h^{-1}$) + 0.895 x SPR (n) + 0.940 x SPR (m)
	ЧСС	HRmax (bpm), AvHR (bpm), %HRmax, TRIMP (au)	0.763 x HRmax (bpm) + 0.967 x AvHR (bpm) + 0.953 x %HRmax + 0.692 x AkubatTRIMP (au)
4	Базовые характеристики	TQR (au), sRPE (au), Offset (y), Age (y)	-0.553 x TQR (au) + -0.516 x sRPE (au) + 0.669 x Offset (y) + 0.836 x Age (y)
5	Средняя скорость	AvS ($m \cdot min^{-1}$), MRS ($m \cdot s^{-1}$)	0.680 x AvS ($m \cdot min^{-1}$) + 0.790 x MRS ($m \cdot s^{-1}$)

Аббревиатуры: ACC-ускорение; AvHR-средняя частота сердечных сокращений; AvS-средняя скорость; DEC-торможение; HTML-дистанция с высокой метаболической нагрузкой; HRmax-

максимальная частота сердечных сокращений; MRS-максимальная скорость бега; SPR-средняя дистанция спринта; SPR_N- количество спринтов; sRPE-оценки воспринимаемой нагрузки за сеанс; TD-общая дистанция; TQR- полное восстановление качества; TRIMP-тренировочный импульс.

Кроме того, для выражения интенсивности бега использовалась метаболическая мощность, а не зоны, основанные на скорости (Osgnach и др., 2010). Тем не менее, TD на первый взгляд может выходить за рамки этой конструкции. Эффект взаимодействия между TD и DEC уже был задокументирован для игроков субэлитного футбола (Teixeira и др., 2021b). Второй PCA извлек HSRr и SPR, поэтому HSR является отличной переменной для определения интенсивности тренировок (Harper и др., 2020). Zurutuza и др. (2020) объединили пиковую скорость и расстояние, пройденное с разными скоростями, в одном основном компоненте, подтвердив наши результаты при требованиях высокой интенсивности. Третий PCA соответствовал показателям, основанным на HR (т.е. HRmax, AvHR, %HRmax и TRIMP), подтверждая корреляцию между показателями, основанными на HR, и результатами ETL (de Dios-Alvarez и др., 2021; Ellis и др., 2021). Четвертый PCA был объяснен TQR, sRPE, смещением периода взросления и паспортным возрастом. Хотя четвертый PCA имеет меньшую объясненную дисперсию, важно учитывать влияние паспотного возраста, биологического возраста и воспринимаемой физической нагрузки (Teixeira и др., 2022a). В соответствии с этим компонентом воспринимаемая нагрузка, по-видимому, лучше объясняется обучаемостью, созреванием и стадией развития (Malina и др., 2019). Кроме того, на TL может влиять соотношение острой и хронической рабочей нагрузки, монотонность тренировок и различия в самочувствии (Clemente и др., 2021a, 2021b; Rico-Gonzalez и др., 2022c). Действительно, в литературе сообщается, что большее соотношение острой и хронической рабочей нагрузки и уровень монотонности тренировок обычно связаны с повышенным риском травм или проблем со здоровьем. Эти измерения могут быть использованы для понимания того, как данные изменяются на протяжении сезонных фаз (Rico-Gonzalez и др., 2022a). Фактически, на воспринимаемую физическую нагрузку юных футболистов могут также влиять такие психофизиологические детерминанты, как самовосприятие компетентности и практический опыт (Branquinho и др., 2021; Ferraz и др., 2017, 2018). Опережающее биологическое созревание в юношеском спорте стало пробелом между исследованиями и практикой, в которых все еще не хватает знаний о субэлитной среде с использованием подходов сокращения объема

данных (Cumming, 2018; Teixeira и др., 2021b, 2022c). Наконец, пятый PCA объяснил 6,7% накопленных TL, которые считали AVS и MRS. Поведение при ходьбе также сообщалось как ключевой момент для футбольных результатов (Ferraz и др., 2018, 2020).

Результаты исследования были немного меньше, чем в предыдущих исследованиях по мини-футболу (Rico-Gonzalez и др., 2022a), австралийскому футболу (Sheehan и др., 2020), регби (Scantlebury и др., 2020; Weaving и др., 2020) и гэльскому футболу (Gamble и др., 2019). Следовательно, при сравнении с текущими исследованиями будут учитываться различия между футбольными кодами. Scantlebury и др. (2020) сообщили о совокупной объясненной дисперсии в 91%, 96% и 91% дисперсии TL в регби, хоккее на траве и футболе. Casamichana и др. (2019) сообщили об объясненном различии интенсивности внешних тренировок между 39% и 44%. Кроме того, собственное значение этого исследования варьировалось от 1,44% до 5,21% за счет установления значений накопленного TL существенно ниже по сравнению с другими исследованиями (т.е. собственных значений от 1,0% до 68,0%) (Pino-Ortega и др., 2021; Scantlebury и др., 2020). Тем не менее, текущее исследование представляет собой первый случай, когда этот статистический подход был использован в молодежном футболе субэлитного уровня, в частности, с использованием данных тренировок (Rico-Gonzalez и др., 2022b; Rojas-Valverde и др., 2020).

Применяемые в настоящее время PCA определяют результирующие уравнения на основе отдельных основных компонентов, выражая их весовыми коэффициентами основных компонентов (Rico-Gonzalez и др., 2022a; Sheehan и др., 2020; Teixeira и др., 2021a). Действительно, это традиционный алгоритм PCA, который вычисляет основные компоненты на основе ковариационной матрицы или разложения данных по сингулярным значениям. Это широко используемые методы в командных видах спорта для уменьшения размерности, визуализации данных и выделения признаков (Pino-Ortega и др., 2021; Rico-Gonzalez и др., 2022b; Rojas-Valverde и др., 2020). Для измерения TL уже были предложены другие соотношения, баллы и эквивалентные уравнения, подчеркивающие интенсивность тренировки, объем или профиль двигательной активности (Clemente и др., 2019; Owen и др., 2017; Rago и др., 2019). Однако алгоритмы PCA разнообразны, и некоторые из них еще не были реализованы в футболе (Rico-Gonzalez и др., 2022b; Rojas-Valverde и др., 2020). Следовательно, в перспективе будущего можно изучить другие алгоритмы PCA,

такие как дифференциальный, ядерный анализ главных компонентов PCA, редкие и надежные PCA подходы (Rojas-Valverde и др., 2020). Дифференциальный PCA позволяет постепенно обновлять основные компоненты по мере добавления новых точек данных в большие наборы данных или при постоянном получении новых данных, например, при мониторинге производительности футболистов в режиме реального времени или данных о тренировках (Jokiniemi, Pietila & Mikkonen, 2021). Ядерный анализ главных компонентов PCA, редкие и надежные PCA подходы в основном применялись для уменьшения нелинейной размерности, ограничений разреженности и зашумленных или неполных данных (Teixeira и др., 2022c). Исследования будущего должны расширить полученные уравнения, приняв во внимание другие факторы хорошего самочувствия, технико-тактические и контекстуальные факторы, связанные с матчем. Кроме того, подход PCA также должен учитывать основной компонент мониторинга TL при рассмотрении режима тренировки (т.е. игры на полях малых размеров и игры конкретными заданиями), тренировочного дня (т.е. MD-3, MD-2 и MD-1), возрастной группы (т.е. U15, U17 и U19) и периоды взросления (т.е. до, в середине и после PHV (пик скорости роста)) (Teixeira и др., 2021a). Кроме того, данные о тренировках представляют только конкретную футбольную академию субэлитного уровня и должны быть тщательно рассмотрены при применении к другим командам и контекстам. В качестве ограничений исследования размер выборки и количество факторов были довольно малы по сравнению с предыдущими исследованиями с более длительным периодом мониторинга (Rojas-Valverde и др., 2020). Кроме того, общая дисперсия была также относительно меньше для PCA а европейском футболе, чем в отчетах других видов футбола (Pino-Ortega и др., 2021; Rojas-Valverde и др., 2020). Однако, необходимо обеспечить, чтобы у европейского футбола был самый низкий процент отклонения по сравнению с другими видами футбола (Rojas-Valverde и др., 2020). Кроме того, выбор более высокого порога для общей дисперсии (%) может привести к меньшему количеству сохраненных основных компонентов и более высокой степени сокращения данных с последующей потерей, шумом или избыточной информацией (Jokiniemi, Pietila & Mikkonen, 2021; Jolliffe & Cadima, 2016). В целом, не существует строгого правила для минимального значения процента от общей дисперсии в PCA, поскольку оно зависит от конкретного применения и компромисса между сокращением объема данных и сохранением информации (Rojas-Valverde и др., 2020). Кроме того, обычно используемый порог для

сохранения основного компонента заключается в выборе тех компонентов, которые объясняют не менее 60-80% общей дисперсии, в зависимости от конкретных требований к анализу данных (Jokiniemi, Pietila & Mikkonen, 2021; Jolliffe & Cadima, 2016). Наконец, стратегии TL, применяемые в этом квазиэкспериментальном подходе, учитывают только GPS, ЧСС и воспринимаемую нагрузку, однако в будущих отчетах следует учитывать более объективные показатели усталости и восстановления, такие как изменчивость ЧСС, интенсивность сигнала электромиографии, биохимические маркеры и другие показатели здоровья (Clemente et al., 2021a, 2021b). Кроме того, необходимы дальнейшие подходы PCA для рассмотрения основных компонентов при интеграции физических, психологических и тактических факторов в футболе в интегративной перспективе (Teixeira и др., 2022c).

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

• Текущие результирующие составные уравнения могут быть применены к относительному вкладу показателей ITL и ETL в мониторинг и управление нагрузкой в субэлитном юношеском футболе.

• Методы сокращения объема данных уменьшают избыточность информации и размерность тренировочных данных, выражаясь в следующих основных компонентах: взрывоопасность и удары, скоростной бег, показатели частоты сердечных сокращений, исходные характеристики и средняя скорость бега.

• Учитывая наивысший коэффициент в каждом основном компоненте, DEC (PCA 1), дистанция спринта (PCA 2), средний ЧСС (PCA 3), паспортный возраст (PCA 4) и максимальная скорость (PCA 5) являются условными параметрами, которые следует учитывать при мониторинге TL в течение стандартного микроцикла у субэлитных юношеских футболистов.

• Статус взросления следует тщательно учитывать при мониторинге TL вместе с относительным влиянием возраста, хронологическими и исходными характеристиками.

• Самовосприятие и практический опыт могут влиять на разногласия, объясняемые индивидуальным восприятием нагрузки и темпом действий.

• Интенсивность и объем тренировок могут быть более точно измерены с помощью текущих результирующих составных уравнений и/или наиболее репрезентативного коэффициента для стандартного микроцикла у юных футболистов субэлитного уровня.

• Будущие исследования должны расширить результирующие уравнения для мониторинга TL в субэлитном юношеском футболе с учетом благополучия, технико-тактических и связанных с матчем контекстуальных факторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используя подход PCA, можно было бы применить пять основных компонентов для извлечения, описания и объяснения результирующих уравнений для мониторинга TL в течение стандартного микроцикла в межсезонный период в субэлитном юношеском футболе. Текущее исследование предоставляет первые составные уравнения для определения TL в этой конкретной популяции, выраженные в виде взрывоопасности и ударов, скоростного бега, показателей ЧСС, базовых характеристик и средней скорости бега. Учитывая наивысший коэффициент в каждом основном компоненте, DEC (PCA 1), дистанция SPR (PCA 2), средняя ЧСС (PCA 3), паспортный возраст (PCA 4) и максимальная SPR (PCA 5) являются условными параметрами, которые следует учитывать при мониторинге TL в течение стандартного микроцикла у субэлитных юношеских футболистов. Будущие исследования должны расширить результирующие уравнения в рамках микроцикла, рассмотрев другие показатели самочувствия, технико-тактические факторы и контекстуальные факторы, связанные с матчем.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ И ЗАЯВЛЕНИЯ

Финансирование

Этот проект был поддержан National Funds через FCT—Portuguese Foundation for Science and Technology (UIDB/DTP/04045/2020). Спонсоры не играли никакой роли в разработке исследования, сборе и анализе данных, принятии решения о публикации или подготовке рукописи.

Раскрытие информации о грантах

Следующая информация о грантах была раскрыта авторами: National Funds through FCT—Portuguese Foundation for Science and Technology: UIDB/DTP/04045/2020.

Конкурирующие интересы

Tiago M. Barbosa is an Academic Editor for PeerJ.

Вклад авторов

• Jose Eduardo Teixeirazадумал и спроектировал эксперименты, провел их, проанализировал данные, подготовил рисунки и/или таблицы, написал или просмотрел черновики статьи и одобрил окончательный вариант.

• Pedro Forte задумал и спроектировал эксперименты, подготовил рисунки и/или таблицы, написал или просмотрел черновики статьи и одобрил окончательный вариант.

• Ricardo Ferraz провел эксперименты, проанализировал данные, написал или просмотрел черновики статьи и одобрил окончательный вариант.

• Lms Branquinho провела эксперименты, проанализировала данные, написала или просмотрела черновики статьи и одобрила окончательный вариант.

• Ryland Morgans проанализировал данные, написал или просмотрел черновики статьи и одобрил окончательный вариант.

• Antonio Jose Silva задумал и спроектировал эксперименты, был автором или рецензентом черновиков статьи и одобрил окончательный вариант.

• Antonio Miguel Monteiro задумал и спроектировал эксперименты, был автором или рецензентом черновиков статьи и одобрил окончательный вариант.

• Tiago M. Barbosa задумал и спроектировал эксперименты, был автором или рецензентом черновиков статьи и одобрил окончательный вариант.

Этический вопрос

Была предоставлена следующая информация, касающаяся этических одобрений (т.е. утверждающий орган и любые справочные номера):

От всех субъектов, участвовавших в исследовании, было получено информированное согласие. Экспериментальный подход был одобрен и применялся местным Ethical Committee from University of Tras-os-Montes & Alto Douro (3379-5002PA67807).

Доступность данных

Была предоставлена следующая информация о доступности данных:

Исходные измерения доступны в Дополнительном файле.

Дополнительная информация

Дополнительную информацию к этой статье можно найти в Интернете по адресу http://dx.doi.org/10.7717/peerj.15806#supplemental-information.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Akubat I, Patel E, Barrett S, Abt G. 2012. Methods of monitoring the training and match load and their relationship to changes in fitness in professional youth soccer players. Journal of Sports Sciences 30(14):1473–1480 DOI 10.1080/02640414.2012.712711.

Bangsbo J, Iaia FM, Krustrup P. 2008. The Yo-Yo intermittent recovery test: a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. Sports Medicine 38(1):37–51 DOI 10.2165/00007256-200838010-00004.

Beato M, Coratella G, Stiff A, Iacono AD. 2018. The validity and between-unit variability of GNSS units (STATSports Apex 10 and 18 Hz) for measuring distance and peak speed in team sports. Frontiers in Physiology 9:1288 DOI 10.3389/fphys.2018.01288.

Bourdon P, Cardinale M, Murray A, Gastin P, Kellmann M, Varley M, Gabbett T, Coutts A, Burgess D, Gregson W, Cable N. 2017. Monitoring athlete training loads: consensus statement. International Journal of Sports Physiology and Performance 12(s2):S2-161 DOI 10.1123/IJSPP.2017-0208.

Branquinho L, Ferraz R, Marques MC. 2021. 5-a-side game as a tool for the coach in soccer training. Strength & Conditioning Journal 43(5):96–108 DOI 10.1519/SSC.0000000000000629.

Branquinho L, Ferraz R, Travassos B, Marinho DA, Marques MC. 2021. Effects of different recovery times on internal and external load during small-sided games in soccer. Sports Health 13(4):324–331 DOI 10.1177/1941738121995469.

Brink MS, Nederhof E, Visscher C, Schmikli SL, Lemmink KA. 2010. Monitoring load, recovery, and performance in young elite soccer players. The Journal of Strength & Conditioning Research 24(3):597 DOI 10.1519/JSC.0b013e3181c4d38b.

Buchheit M, Simpson BM, Hader K, Lacome M. 2021. Occurrences of near-to-maximal
speed-running bouts in elite soccer: insights for training prescription and injury mitigation. Science and Medicine in Football 5(2):105–110

DOI 10.1080/24733938.2020.1802058.

Cabral LL, Nakamura FY, Stefanello JMF, Pessoa LCV, Smirmaul BPC, Pereira G. 2020. Initial validity and reliability of the Portuguese Borg rating of perceived exertion 6–20 scale. Measurement in Physical Education and Exercise Science 24:103–114
DOI 10.1080/1091367X.2019.1710709.

Casamichana D, Castellano J, Díaz AG, Martín-García A. 2019. Looking for complementary intensity variables in different training games in football. Journal of Strength and Conditioning Research. Publish Ahead of Print
DOI 10.1519/JSC.0000000000003025.

Castillo D, Raya-González J, Clemente FM, Yanci J. 2020. The influence of youth soccer players' sprint performance on the different sided games' external load using GPS devices. Research in Sports Medicine 28(2):194–205
DOI 10.1080/15438627.2019.1643726.

Clemente FM, Afonso J, Costa J, Oliveira R, Pino-Ortega J, Rico-González M. 2021a. Relationships between sleep, athletic and match performance, training load, and injuries: a systematic review of soccer players. Healthcare 9(7):808
DOI 10.3390/healthcare9070808.

Clemente FM, González-Fernández FT, Ceylan HI, Silva R, Younesi S, Chen YS, Badicu G, Wolanski P, Murawska-Cia łowicz E. 2021b. Blood biomarkers variations across the pre-season and interactions with training load: a study in professional soccer players. Journal of Clinical Medicine 10(23):5576 DOI 10.3390/jcm10235576.

Clemente FM, Rabbani A, Conte D, Castillo D, Afonso J, Truman Clark CC, Nikolaidis PT, Rosemann T, Knechtle B. 2019. Training/match external load ratios in professional soccer players: a full-season study. International Journal of Environmental Research and Public Health 16(17):3057 DOI 10.3390/ijerph16173057.

Coutinho D, Gonçalves B, Figueira B, Abade E, Marcelino R, Sampaio J. 2015. Typical weekly workload of under 15, under 17, and under 19 elite Portuguese football players. Journal of Sports Sciences 33(12):1229–1237 DOI 10.1080/02640414.2015.1022575.

Cumming SP. 2018. A game plan for growth: how football is leading the way in the consideration of biological maturation in young male athletes. Annals of Human Biology 45(5):373–375 DOI 10.1080/03014460.2018.1513560.

de Dios-Álvarez V, Suárez-Iglesias D, Bouzas-Rico S, Alkain P, González-Conde A, AyánPérez C. 2021. Relationships between RPE-derived internal training load

parameters and GPS-based external training load variables in elite young soccer players. Research in Sports Medicine 31(1):1–16
DOI 10.1080/15438627.2021.1937165.

Ellis M, Penny R, Wright B, Noon M, Myers T, Akubat I. 2021. The dose-response relationship between training-load measures and aerobic fitness in elite academy soccer players. Science and Medicine in Football 5(2):128–136
DOI 10.1080/24733938.2020.1817536.

Ferraz R, Gonçalves B, Coutinho D, Marinho DA, Sampaio J, Marques MC. 2018. Pacing behaviour of players in team sports: influence of match status manipulation and task duration knowledge. PLOS ONE 13(2):e0192399
DOI 10.1371/journal.pone.0192399.

Ferraz R, Gonçalves B, Coutinho D, Oliveira R, Travassos B, Sampaio J, Marques MC. 2020. Effects of knowing the task's duration on soccer players' positioning and pacing behaviour during small-sided games. International Journal of Environmental Research and Public Health 17(11):3843 DOI 10.3390/ijerph17113843.

Ferraz R, Gonçalves B, Tillaar R, Saiz S, Sampaio J, Marques M. 2017. Effects of knowing the task duration on players' pacing patterns during soccer small-sided games. Journal of Sports Sciences 36(1):116–122
DOI 10.1080/24733938.2017.1283433.

Ford PR, Bordonau JLD, Bonanno D, Tavares J, Groenendijk C, Fink C, Gualtieri D, Gregson W, Varley MC, Weston M, Lolli L, Platt D, Di Salvo V. 2020. A survey of talent
identification and development processes in the youth academies of professional soccer clubs from around the world. Journal of Sports Sciences 38(11–12):1269–1278
DOI 10.1080/02640414.2020.1752440.

Gamble D, Bradley J, McCarren A, Moyna NM. 2019. Team performance indicators which differentiate between winning and losing in elite Gaelic football. International Journal of Performance Analysis in Sport 19(4):478–490
DOI 10.1080/24748668.2019.1621674.

Gómez-Carmona CD, Bastida-Castillo A, González-Custodio A, Olcina G, Pino-Ortega J. 2020. Using an inertial device (WIMU PRO) to quantify neuromuscular load in running: reliability, convergent validity, and influence of type of surface and device location. The Journal of Strength & Conditioning Research 34(2):365–373
DOI 10.1519/JSC.0000000000003106.

Gonçalves B, Coutinho D, Exel J, Travassos B, Peñas C, Sampaio J. 2019. Extracting
spatial-temporal features that describe a team match demands when considering the effects of the quality of opposition in elite football. PLOS ONE 14(8):e0221368 DOI 10.1371/journal.pone.0221368.

Griffin A, Kenny IC, Comyns TM, Purtill H, Tiernan C, O'Shaughnessy E, Lyons M. 2021. Training load monitoring in team sports: a practical approach to addressing missing data. Journal of Sports Sciences 39(19):2161–2171 DOI 10.1080/02640414.2021.1923205.

Haddad M, Stylianides G, Djaoui L, Dellal A, Chamari K. 2017. Session-RPE method for training load monitoring: validity, ecological usefulness, and influencing factors. Frontiers in Neuroscience 11:612 DOI 10.3389/fnins.2017.00612.

Harper DJ, Morin J-B, Carling C, Kiely J. 2020. Measuring maximal horizontal deceleration ability using radar technology: reliability and sensitivity of kinematic and kinetic variables. Sports Biomechanics 1–17 DOI 10.1080/14763141.2020.1792968.

Hill M, Scott S, Malina RM, McGee D, Cumming SP. 2020. Relative age and maturation selection biases in academy football. Journal of Sports Sciences 38(11–12):1359–1367 DOI 10.1080/02640414.2019.1649524.

Impellizzeri FM, Jeffries AC, Weisman A, Coutts AJ, McCall A, McLaren SJ, Kalkhoven J. 2022. The 'training load' construct: why it is appropriate and scientific. Journal of Science and Medicine in Sport 25(5):445–448 DOI 10.1016/j.jsams.2021.10.013.

JASP Team. 2022. JASP (Version 0.16.3) [Computer Software]. Available at https://jasp-stats.org/download/ (accessed 1 December 2022).

Jokiniemi K, Pietilä AM, Mikkonen S. 2021. Construct validity of clinical nurse specialist core competency scale: an exploratory factor analysis. Journal of Clinical Nursing 30(13–14):1863–1873 DOI 10.1111/jocn.15587.

Jolliffe IT, Cadima J. 2016. Principal component analysis: a review and recent developments. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 374(2065):20150202 DOI 10.1098/rsta.2015.0202.

Kenttä G, Hassmén P. 1998. Overtraining and recovery: a conceptual model. Sports Medicine 26(1):1–16 DOI 10.2165/00007256-199826010-00001.

Los Arcos A, Mendiguchia J, Javier Y. 2017. Specificity of jumping, acceleration

and quick change of direction motor abilities in soccer players. Kinesiology 49(1):22–27 DOI 10.26582/k.49.1.12.

Malina R, Cumming S, Rogol A, Coelho-e-Silva M, Figueiredo A, Konarski J, Koziel S. 2019. Bio-banding in youth sports: background, concept, and application. Sports Medicine 49(11):1671–1685 DOI 10.1007/s40279-019-01166-x.

Marfell-Jones M, Olds T, Stewart A, Carter L. 2006. ISAK accreditation handbook. Montreal: International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK).

Mirwald RL, Baxter-Jones ADG, Bailey DA, Beunen GP. 2002. An assessment of maturity from anthropometric measurements. Medicine and Science in Sports and Exercise 34(4):689–694 DOI 10.1249/00005768-200204000-00020.

Moura FA, Santana JE, Vieira NA, Santiago PRP, Cunha SA. 2015. Analysis of soccer players' positional variability during the 2012 UEFA European championship: a case study. Journal of Human Kinetics 47(1):225–236 DOI 10.1515/hukin-2015-0078.

O'Donoghue P. 2008. Principal components analysis in the selection of key performance indicators in sport. International Journal of Performance Analysis in Sport 8(3):145–155 DOI 10.1080/24748668.2008.11868456.

Oliva-Lozano JM, Muyor JM. 2022. Understanding the FIFA quality performance reports for electronic performance and tracking systems: from science to practice. Science and Medicine in Football 6(3):398–403 DOI 10.1080/24733938.2021.1984557.

Oliva-Lozano JM, Rojas-Valverde D, Gómez-Carmona CD, Fortes V, Pino-Ortega J. 2021. Impact of contextual variables on the representative external load profile of Spanish professional soccer match-play: a full season study. European Journal of Sport Science 21(4):497–506 DOI 10.1080/17461391.2020.1751305.

Osgnach C, Poser S, Bernardini R, Rinaldo R, Di Prampero PE. 2010. Energy cost and metabolic power in elite soccer: a new match analysis approach. Medicine & Science in Sports & Exercise 42(1):170–178 DOI 10.1249/MSS.0b013e3181ae5cfd.

Owen AL, Djaoui L, Newton M, Malone S, Mendes B. 2017. A contemporary multi-modal mechanical approach to training monitoring in elite professional soccer. Science and Medicine in Football 1(3):216–221 DOI 10.1080/24733938.2017.1334958.

Pino-Ortega J, Rojas-Valverde D, Gómez-Carmona CD, Rico-González M. 2021. Training design, performance analysis, and talent identification—a systematic review about the most relevant variables through the principal component analysis in soccer, basketball, and rugby. International Journal of Environmental Research

and Public Health 18(5):2642 DOI 10.3390/ijerph18052642.

Rago V, Brito J, Figueiredo P, Krustrup P, Rebelo A. 2019. Relationship between external load and perceptual responses to training in professional football: effects of quantification method. Sports 7(3):68 DOI 10.3390/sports7030068.

Rago V, Rebelo A, Krustrup P, Mohr M. 2020. Contextual variables and training load throughout a competitive period in a top-level male soccer team. The Journal of Strength & Conditioning Research, Publish Ahead of Print 35(11):3177–3183 DOI 10.1519/JSC.0000000000003258.

Ric A, Torrents C, Gonçalves B, Sampaio J, Hristovski R. 2016. Soft-assembled multilevel dynamics of tactical behaviors in soccer. Frontiers in Psychology 7(35):1513
DOI 10.3389/fpsyg.2016.01513.

Rico-González M, Oliveira R, González Fernández FT, Clemente FM. 2022a. Acute: chronic workload ratio and training monotony variations over the season in youth soccer players: a systematic review. International Journal of Sports Science & Coaching 11:174795412211045 DOI 10.1177/17479541221104589.

Rico-González M, Pino-Ortega J, Praça GM, Clemente FM. 2022b. Practical applications for designing soccer' training tasks from multivariate data analysis: a systematic review emphasizing tactical training. Perceptual and Motor Skills 129(3):892–931 DOI 10.1177/00315125211073404.

Rico-González M, Puche-Ortuño D, Clemente FM, Aquino R, Pino-Ortega J. 2022c. The most demanding exercise in different training tasks in professional female futsal: a mid-season study through principal component analysis. Healthcare 10(5):838
DOI 10.3390/healthcare10050838.

Ricotti L, Rigosa J, Niosi A, Menciassi A. 2013. Analysis of balance, rapidity, force and reaction times of soccer players at different levels of competition. PLOS ONE 8(10):e77264 DOI 10.1371/journal.pone.0077264.

Rojas-Valverde D, Pino-Ortega J, Gómez-Carmona CD, Rico-González M. 2020. A systematic review of methods and criteria standard proposal for the use of principal component analysis in team's sports science. International Journal of Environmental Research and Public Health 17(23):8712 DOI 10.3390/ijerph17238712.

Ruan L, Ge H, Gómez MA, Shen Y, Gong B, Cui Y. 2022. Analysis of defensive playing styles in the professional Chinese Football Super League ahead of print. Science and Medicine in Football 1–9 DOI 10.1080/24733938.2022.2099964.

Scantlebury S, Till K, Beggs C, Dalton-Barron N, Weaving D, Sawczuk T, Jones B. 2020. Achieving a desired training intensity through the prescription of external training load variables in youth sport: more pieces to the puzzle required. Journal of Sports Sciences 38(10):1124–1131 DOI 10.1080/02640414.2020.1743047.

Sheehan WB, Tribolet R, Spurrs R, Fransen J, Novak AR, Watsford ML. 2020. Simplifying the complexity of assessing physical performance in professional Australian football. Science and Medicine in Football 4(4):285–292 DOI 10.1080/24733938.2020.1745264.

Staunton CA, Abt G, Weaving D, Wundersitz DWT. 2021. Misuse of the term 'load' in sport and exercise science. Journal of Science and Medicine in Sport 25(5):439–444
DOI 10.1016/j.jsams.2021.08.013.

Suarez-Arrones L, Petri C, Maldonado RA, Torreno N, Munguía-Izquierdo D, Di Salvo V, Méndez-Villanueva A. 2018. Body fat assessment in elite soccer players: cross-validation of different field methods. Science and Medicine in Football 2(3):203–208
DOI 10.1080/24733938.2018.1445871.

Teixeira JE, Alves AR, Ferraz R, Forte P, Leal M, Ribeiro J, Silva AJ, Barbosa TM, Monteiro AM. 2022a. Effects of chronological age, relative age, and maturation status on accumulated training load and perceived exertion in young sub-elite football players. Frontiers in Physiology 13:832202 DOI 10.3389/fphys.2022.832202.

Teixeira JE, Branquinho L, Ferraz R, Leal M, Silva AJ, Barbosa TM, Monteiro AM, Forte P. 2022b. Weekly training load across a standard microcycle in a sub-elite youth football academy: a comparison between starters and non-starters. International Journal of Environmental Research and Public Health 19(18):11611 DOI 10.3390/ijerph191811611.

Teixeira JE, Forte P, Ferraz R, Branquinho L, Silva AJ, Monteiro AM, Barbosa TM. 2022c. Integrating physical and tactical factors in football using positional data: a systematic review. PeerJ 10(3):e14381 DOI 10.7717/peerj.14381.

Teixeira JE, Forte P, Ferraz R, Leal M, Ribeiro J, Silva AJ, Barbosa TM, Monteiro AM. 2021a. Monitoring accumulated training and match load in football: a systematic review. International Journal of Environmental Research and Public Health 18(8):3906 DOI 10.3390/ijerph18083906.

Teixeira JE, Forte P, Ferraz R, Leal M, Ribeiro J, Silva AJ, Barbosa TM, Monteiro AM. 2021b. Quantifying sub-elite youth football weekly training load and recovery

variation. Applied Sciences 11(11):4871 DOI 10.3390/app11114871.
Teixeira JE, Forte P, Ferraz R, Leal M, Ribeiro J, Silva AJ, Barbosa TM, Monteiro AM. 2022d. The association between external training load, perceived exertion and total quality recovery in sub-elite youth football. The Open Sports Sciences Journal 15(1):235 DOI 10.2174/1875399X-v15-e2207220.
Trecroci A, Milanović Z, Frontini M, Iaia FM, Alberti G. 2018. Physical performance comparison between under 15 elite and sub-elite soccer players. Journal of Human Kinetics 61(1):209–216 DOI 10.1515/hukin-2017-0126.
Trecroci A, Milanović Z, Rossi A, Broggi M, Formenti D, Alberti G. 2016. Agility profile in sub-elite under-11 soccer players: is SAQ training adequate to improve sprint, change of direction speed and reactive agility performance? Research in Sports Medicine 24(4):331–340 DOI 10.1080/15438627.2016.1228063.
Vanrenterghem J, Nedergaard NJ, Robinson MA, Drust B. 2017. Training load monitoring in team sports: a novel framework separating physiological and biomechanical load-adaptation pathways. Sports Medicine 47(11):2135–2142 DOI 10.1007/s40279-017-0714-2.
Warmenhoven J, Cobley S, Draper C, Harrison A, Bargary N, Smith R. 2019. Bivariate
functional principal components analysis: considerations for use with multivariate movement signatures in sports biomechanics. Sports Biomechanics 18(1):10–27 DOI 10.1080/14763141.2017.1384050.
Weaving D, Beggs C, Dalton-Barron N, Jones B, Abt G. 2019. Visualizing the complexity of the athlete-monitoring cycle through principal-component analysis. International Journal of Sports Physiology and Performance 14(9):1304–1310 DOI 10.1123/ijspp.2019-0045.
Weaving D, Dalton-Barron N, McLaren S, Scantlebury S, Cummins C, Roe G, Jones B, Beggs C, Abt G. 2020. The relative contribution of training intensity and duration to daily measures of training load in professional rugby league and union. Journal of Sports Sciences 38(14):1674–1681 DOI 10.1080/02640414.2020.1754725.
Winter EM, Maughan RJ. 2009. Requirements for ethics approvals. Journal of Sports Sciences 27(10):985 DOI 10.1080/02640410903178344.
Zurutuza U, Castellano J, Echeazarra I, Guridi I, Casamichana D. 2020. Selection of training load measures to explain variability in football training games. Frontiers in Psychology 10:2897 DOI 10.3389/fpsyg