

МОДУЛЬ 4. ИНСТРУМЕНТЫ МОНИТОРИНГА ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ И ЕЁ ПЕРЕМЕННЫХ

Введение

Выполненные действия спортсменом, представляют внешнюю нагрузку. Однако физиологические адаптации происходят из-за внутренней нагрузки, в основном из-за биохимического стресса (Vanrenterghem, Nedergaard, Robinson и Drust, 2017). В дополнение к биохимическим напряжениям действия, выполненные спортсменом, также вызывают механические напряжения в различных тканях, составляющих опорно-двигательную систему (хрящи, кости, мышцы и сухожилия). В сегодняшний день, благодаря специалистам по тканям тела, мы знаем, что напряжения напрямую связаны с повреждением и восстановлением тканей (Vanrenterghem et al., 2017). Поэтому необходимо стимулировать структуры для содействия их адаптации через узкое окно продолжительностей и/или интенсивностей нагрузки. Не годится любая нагрузка, применяемая в любой момент и с любой интенсивностью, а мы должны точно настраивать нагрузку, которая будет налагаться на спортсмена. Это означает, что в результате механических напряжений возникают структурные и функциональные адаптации опорно-двигательной системы. Vanrenterghem и др. (2017) недавно предложили модель, в которой физиологические и биомеханические процессы рассматриваются отдельно. Чтобы показать примеры этого процесса, авторы используют аналогию с автомобилем, в которой физиологические адаптации происходят в автомобильном машиностроении, сосредотачиваясь на потреблении бензина и воздуха, в то время как биомеханические адаптации сосредоточены на системе подвески, ориентируясь на сохранение механических свойств нетронутыми.

Анализ движения (внешняя нагрузка) включает количественную оценку перемещений спортсменов, предоставляя информацию о действиях, скоростях, продолжительности и расстояниях во время тренировок или соревнований (Casamichana, 2011; Dobson и Keogh, 2007). Оценка паттернов движения позволяет узнать физические требования, которым игроки подвергаются во время соревнований (Barbero-Alvarez и др., 2005; Hughes и Franks, 1997), которая предоставляет знания спортивным техническим специалистам, чтобы специфически вмешиваться в тренировку и оценивать результаты соревнований (Barros и др., 2007). В этом смысле существуют различные системы записи передвижения спортсменов (Castellano и Casamichana, 2014a), но мы сосредоточимся только на GPS-устройствах, которые являются наиболее распространенными в тренировках (Casamichana, 2011). Тем не менее, мы знаем, что существуют и другие интересные системы для мониторинга переменных, которые характеризуют внешние требования, налагаемые на спортсменов, такие как видео, фотограмметрические системы, или локальные системы позиционирования или LPS, среди других (для получения дополнительной информации по этому вопросу, читать Castellano и Casamichana 2014a и b). Также, следует отметить, что, хотя мы будем называть их GPS



устройствами, мы в самом деле ссылаемся на системы, которые интегрируют различные типы датчиков (GPS, трёхосные акселерометры, гироскопы, магнитометры, барометры). Несмотря на то, что существуют различия в зависимости от фирмы и модели, многие из доступных устройств в настоящее время имеют дополнительные датчики к GPS. Эти устройства легкие, маленькие, не слишком дорогие, и позволяют регистрировать даже в режиме реального времени (Aughey и Fallon, 2010). Информация, которую они предоставляют, имеет отношение к движению игроков: частоты, продолжительности и расстояния, соударения, скорости, повороты и положительные и отрицательные ускорения. Buchheit и Simpson (2016) классифицируют переменные на три различных типа:

- Тип/уровень 1. Общие пройденные расстояния и расстояния пройденные в различных диапазонах скорости движения. Такой тип переменных наиболее классически используются для мониторинга действий спортсменов, называя их анализами старой школы. Они являются переменными, предоставленными всеми устройствами, на основе информации о положении в зависимости от времени, полученного через сигнал GPS. Например, общее пройденное расстояние 10500 метров, с расстоянием, пройденным $> 21.0 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$ из 250 м, что составляет 2.3% от общего пройденного расстояния.
- Тип/уровень 2. Они относятся ко всем событиям, связанным с изменениями скорости: ускорения, замедления и изменения направления. Эта информация предоставляется с более высоким или более низким уровнем надежности и действительности многими устройствами, которые в настоящее время можно найти на рынке.
- Тип/уровень 3. Вся информация, полученная от инерционных датчиков/акселерометров. Эта информация недоступна, когда делается мониторинг игроков с помощью полуавтоматических систем отслеживания, таких как Amisco[®], Prozone[®] о Mediacoach[®], нужно установить датчик на теле игрока.

Далее мы будем рассматривать некоторые из наиболее часто используемых переменных, следуя ранее предложенной классификации, и подробно будем описывать те аспекты, что мы считаем наиболее важными и полезными, которые бы благоприятствовали правильному использованию в повседневной практике.



4.1 Переменные типа/уровня 1

По словам Бухейта и Симпсона (2016), эта группа переменных охватывает общие пройденные расстояния, пройденные расстояния в различных диапазонах скорости перемещения. Они являются переменными, предоставляемыми всеми устройствами, на основе информации о положении в зависимости от времени, полученного через сигнал GPS. Например, общее пройденное расстояние 10500 метров, с расстоянием, пройденным $> 21.0 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$ из 250 м, что составляет 2.3% от общего пройденного расстояния.

4.1.1. Общие расстояния

Среди переменных, предоставленными устройствами GPS, общие пройденные расстояния или расстояния пройденные в различных диапазонах скорости, обычно используются в литературе для описания соревнования (Casamichana, 2011; Casamichana и Castellano, 2011; Casamichana и др., 2013c) или тренировки (Castellano и др., 2013b). Следует уточнить, что не все физические переменные, полученные от устройств глобального позиционирования, одинаково надежны (Jennings и др., 2010), их надежность уменьшается по мере повышения скорости или ускорения (Akenhead и др., 2014; Castellano и др., 2011). Общее расстояние (OP), расстояние, пройденное выше, чем за $15 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$ или с бегом высокой скорости, выраженное относительно как процент от OP, кажется надежным (Jennings и др., 2010), но это будет зависеть от характеристик модели и версии используемого устройства (Castellano и Casamichana, 2014b).

4.1.2. Расстояния, пройденные в категориях скорости

Расстояние, пройденное в разных диапазонах или скоростных зонах, время, потраченное в этих зонах, или количество сделанных усилий в этих зонах, являются формами, которые часто используются для выражения этих требований.

Абсолютные зоны скорости

Особое внимание уделяется зонам высокой скорости, так как они имеют решающее значение в коллективных видах спорта. Мы должны быть осторожными при использовании устройств GPS зная, что, существует ошибка в точности, когда скорость превышает $\text{км}\cdot\text{ч}^{-1}$ (Castellano и др., 2011), и это следует учитывать, когда желается сделать количественную оценку перемещений с этим типом интенсивности. С увеличением диапазона скорости увеличивается ошибка, связанная со значением, и поэтому представляется что существует определенная связь между спортивной важностью и полезностью, то есть, в более высоких диапазонах скорости (очень важно со спортивной точки зрения) более высокая ошибка и, следовательно, нужно принимать меньше решений (всегда с учетом погрешности измерения в этом типе перемещения). Наиболее часто используемые диапазоны для классификации ритмов работы это (Barros и др., 2007; Di Salvo и др., 2007; Di Salvo и др., 2009; Rampinini и др., 2007): стоя-идя ($0\text{-}6.9 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$), лёгкая гонка ($7.0\text{-}12.9 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$), средняя гонка ($13.0\text{--}17.9 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$), быстрая гонка ($18.0\text{-}20.9 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$) и спринт ($>21 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$), хотя существуют и похожие альтернативы и, другие, более радикальные.

Относительные диапазоны скорости.



Использование произвольно определенных абсолютных скоростных диапазонов (км·ч⁻¹) является обычной практикой в исследованиях, проводимых в контексте групповых видов спорта (Cummins, Orr, O'Connor, и West, 2013). Однако несоответствие в этих скоростных диапазонах вызывает трудности в сравнении результатов, полученных в различных исследованиях, даже в одном и том же виде спорта или соревновательном уровне (Cummins и др., 2013; Sweeting, Cormack, Morgan, и Aughey, 2017).

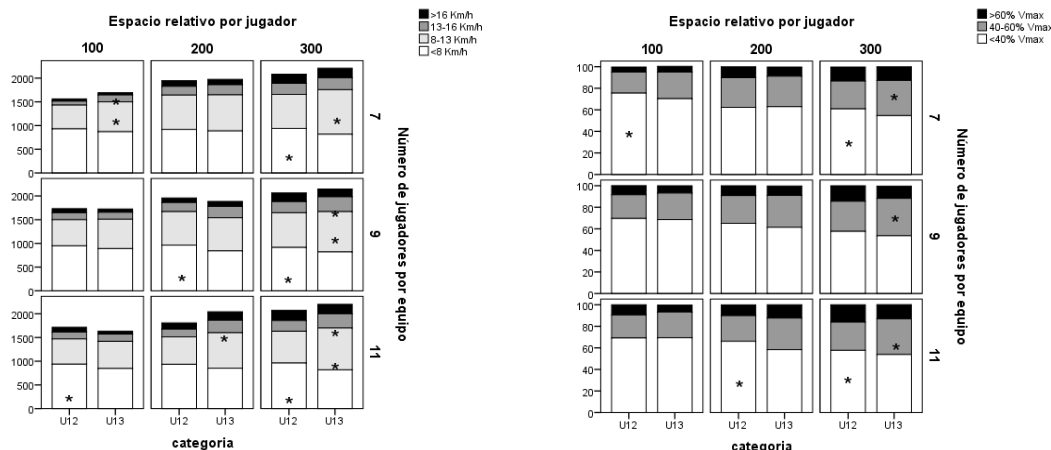
Dwyer и др. (2012) сообщили о методе стандартизации протоколов анализа групповых видов спорта, рекомендуя диапазоны скорости, зависящие от вида спорта (Dwyer и Gabbett, 2012). Однако важное ограничение абсолютных скоростных диапазонов, применимых к любому виду спорта или команде, является то, что в нем не учитываются индивидуальные различия между игроками (Sweeting и др., 2017). Например, полученные результаты могут зависеть от пика скорости, достигнутого каждым игроком. Затем, у игроков с более высоким пиком скорости, порог скорости, используемый для классификации действия как расстояние высокой скорости или спринт, представляет собой более низкий процент от индивидуального максимума, имея высокую способность/легкость для достижения этого порога. Использование индивидуальных диапазонов скорости вместо абсолютных диапазонов скорости увеличивает пройденное расстояние на высокой скорости у медленных спортсменов, при одновременном снижении действий быстрых спортсменов (Buchheit, Simpson, и Mendez-Villanueva, 2013; Gabbett, 2015).

В футболистах, находящихся в периоды формирования релятивизация имеет больше смысла, особенно если цель состоит в сравнении требований игроков на разных стадиях созревания. Таким образом, молодые футболисты выполняют больше последовательностей повторных спринтов при использовании индивидуальных порогов скорости (>61% от пика индивидуальной скорости) по сравнению с более взрослыми футболистами, в то время как, когда мы используем абсолютные пороги скорости (> 19 км·ч⁻¹), взрослые спортсмены выполняют больше повторных спринтов, чем молодые футболисты (Buchheit, Mendez-Villanueva, Simpson, и Bourdon, 2010).

Исследования сделанные Castellano и др. (2015, 2016) показывают похожие результаты. В этих работах личные ценности, применимые на этапе формирования футболиста, позволяют нам по-настоящему узнать то, что требуется от каждого игрока или сколько усилий он приложил (изображение 4.1). Эти изображения показывают, как интерпретация требований варьируется в зависимости от того, если учитываются ли абсолютные или относительные значения: в то время как у взрослых игроков (U13) требования выше, когда эти требования оцениваются в относительном выражении, требования оказываются ниже, чем у более молодых игроков (U12).

Изображение 4.1. Средние значения пройденного расстояния игроками (U12 и U13) в абсолютных (а) и относительных диапазонах (б) при их максимальной индивидуальной скорости в девяти различных задачах: три относительных пространства (100, 200 и 300 м²) с тремя возможностями с точки зрения количества участвующих игроков в команде (7, 9 и 11).





Взято из: Castellano и Casamichana (2016).

Espacio relativo por jugador	Относительное пространство за игрока
Categoría	Категория
Número de jugadores por equipo	Количество игроков за команду
>16 Km/h	>16 Км/ч
13-16 Km/h	13-16 Км/ч
8-13 Km/h	8-13 Км/ч
< 8 Km/h	< 8 Км/ч
>60% Vmax	>60% Vmax
40-60% Vmax	40-60% Vmax
<40% Vmax	<40% Vmax

Что еще более важно, использование индивидуальных порогов скорости снижает индивидуальную изменчивость и демаркацию во время соревнований в футболе, и таким образом, эти значения являются наиболее стабильными индикаторами действий на высокой скорости, по сравнению с тем, когда эти действия изучаются на основе абсолютных критериев скорости (Carling, Bradley, McCall, и Dupont, 2016).

Наконец, было предложено что достижение более высокого пикового процента скорости (98 против 85%) в течение тренировочной недели имеет защитный эффект, уменьшая вероятность получения травмы (Malone, Roe, Doran, Gabbett, и Collins, 2017). Кроме этого, существует связь с формой U между числом еженедельных воздействий индивидуальных высокоскоростных действий и вероятностью травмы в футболе (Malone и др., 2017), что оправдывает использование индивидуальных пороговых значений скорости.

Мы считаем необходимым подчеркнуть важность релятивизации требований, особенно когда речь идет о количественной оценке тренировочной нагрузки. Другими словами, мы должны учитывать особенность каждого игрока (Jastrzębski и Radziwiński,



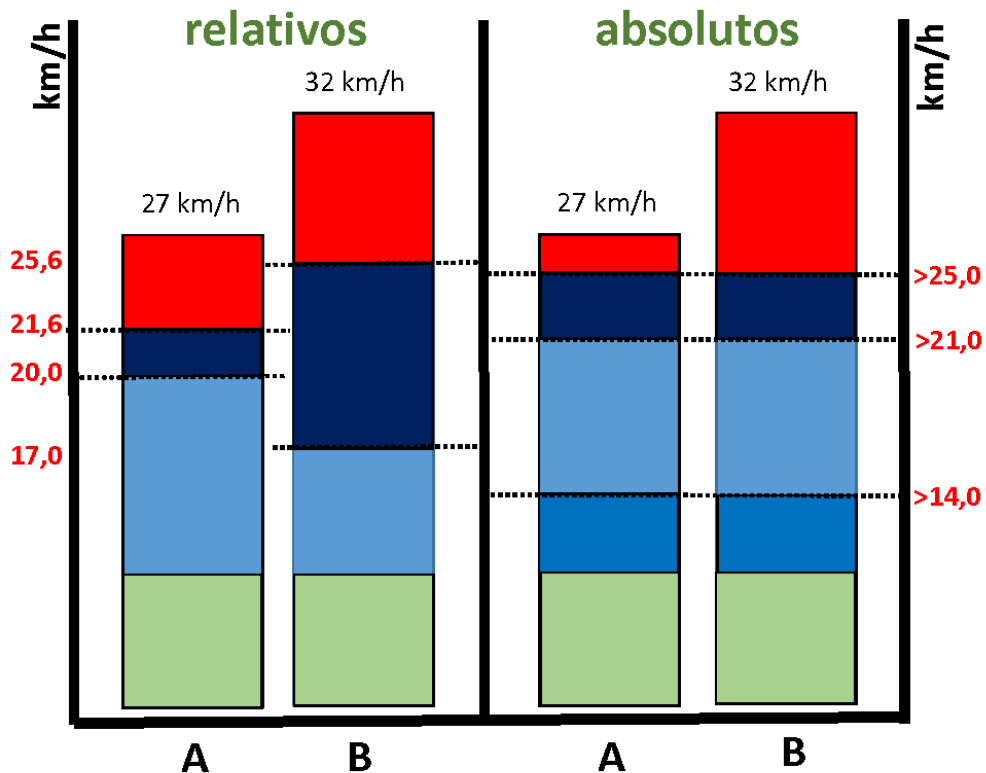
2015). Для того, чтобы это было возможно сделать, мы должны определить диапазоны интенсивности индивидуальным образом на основе одного или нескольких критериев. В этом смысле в литературе существуют подходы, что поддерживают использование физических переменных (как например, максимальная скорость), использование физиологических переменных (таких как пороги вентиляции легких, (Lovell и Abt, 2013) или максимальная аэробная скорость), или использование результата сочетания обоих критериев для установления различных категорий интенсивности перемещения игроков (Buchheit и Laursen, 2013). Jastrzębski и Radzimiński (2015) предлагают анаэробную пороговую скорость и 80% максимальной скорости, достигнутой в линейных гоночных тестах, для определения интенсивности диапазонов индивидуальных перемещений для каждого спортсмена. Таким образом, рассматривается так и механическая или физическая переменная (максимальная скорость, достигнутая в тесте спортсменом) как и физиологическая переменная (анаэробный порог). В их предложении, устанавливается 5 зон интенсивности – первые две (стояч-ходом и ходом-бегом) общие и независимые от характеристик спортсмена, и которые на изображении 2.4 были сгруппированы зеленым цветом. Как видно из источников энергии, запрошенных у игроков при рассмотрении абсолютных значений, можно перепутать нагрузку, выдержанную игроком. И наоборот, при рассмотрении значений, связанных с максимумами и порогами игроков, требования будут отвечать требуемым энергетическим процессам. Хотя это не единственный подход, это является первым приложением для мониторинга футбольных тренировочных задач с этой перспективой.

На данный момент читатель скорее всего узнаёт важность релятивизации порогов скорости на основе характеристик спортсменов, мы должны знать, что она имеет свои практические ограничения / трудности. Эти трудности четко проявляются в том, что из 41 клубов, изученных в работе Akenhead и др. (2016), только два клуба использовали релятивизацию скоростного порога, в одном случае используя соответствующую скорость с порогом лактата и в другом случае используя максимальную аэробную скорость в качестве критерия.

Изображение 4.2. Диапазоны скорости двух игроков (А и Б) с учетом относительных критериев, касающихся их максимальной скорости и 80% ее, а также их скорости на пороге (левая часть) и абсолютных критериев, произвольно установленных (25, 21 и 14 км·ч⁻¹)(правая часть).



¿Cómo establecemos los rangos?



¿Cómo establecemos los rangos?	Как мы устанавливаем зоны?
Relativos	Относительные
Absolutos	Абсолютные
Km/h	Км/ч
A	А
B	Б

Взято из Castellano и Casamichana (2016).

Поэтому в отношении использования различных диапазонов или скоростных зон при мониторинге/количественной оценке тренировки мы должны учитывать:

- Использование зон абсолютной интенсивности позволяет легко сравнивать различные исследования. Тем не менее, существует несоответствие между зонами скорости, используемыми различными исследованиями.
- Мы не должны забывать, что производительность в футболе связана с более абсолютными, чем, относительными проблемами, так как необходимо достигнуть мяч до соперника, независимо от того, сколько процентов индивидуального максимума использует игрок. Тем не менее, в футболе, мяч достигается раньше, потому что выходит раньше. Мы настаиваем! в футболе «больше не всегда лучше».
- Однако, кажется, что релятивизация внешних требований ссылаясь на индивидуальные характеристики является интересной альтернативой для подхода к количественной оценке.

4.1.3 Частота действий

В последние годы часто проводились исследования выявления высокоинтенсивных действий во время мероприятия (соревнование, тренировка и/или тренировочная задача). Процесс, который должен осуществлять техник, чтобы узнать действия высокой интенсивности (с приближением на основе скорости) можно обобщить следующими шагами:

- Идентифицировать переменную критерия, что будет использоваться в качестве фильтра. В этом случае скорость передвижения.
- Установить порог, с которого мы будем рассматривать действия как высокоинтенсивные. Например, абсолютная или относительная скорость ($>19 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$ или 70% от индивидуальной максимальной скорости).
- Рассчитать работу, выполненную выше выбранного порога.
- Описать каждое действие, выполненное выше выбранного порога.

Например, используя скорость в качестве переменной критерия, на нижнем изображении показаны действия, выполненные выше скорости, используемой в качестве порога. За это время изучаемый игрок прошел общее расстояние X метров. Легко определить временное окно, в котором скорость превышает этот порог, и обобщить действие, выполненное выше этого порога.

Изображение 3. Скорость в зависимости от времени, указывая количество действий, превышающих порог $19.8 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$.



Tracks	Полоса
Km/h	Км/ч
Speed	Скорость

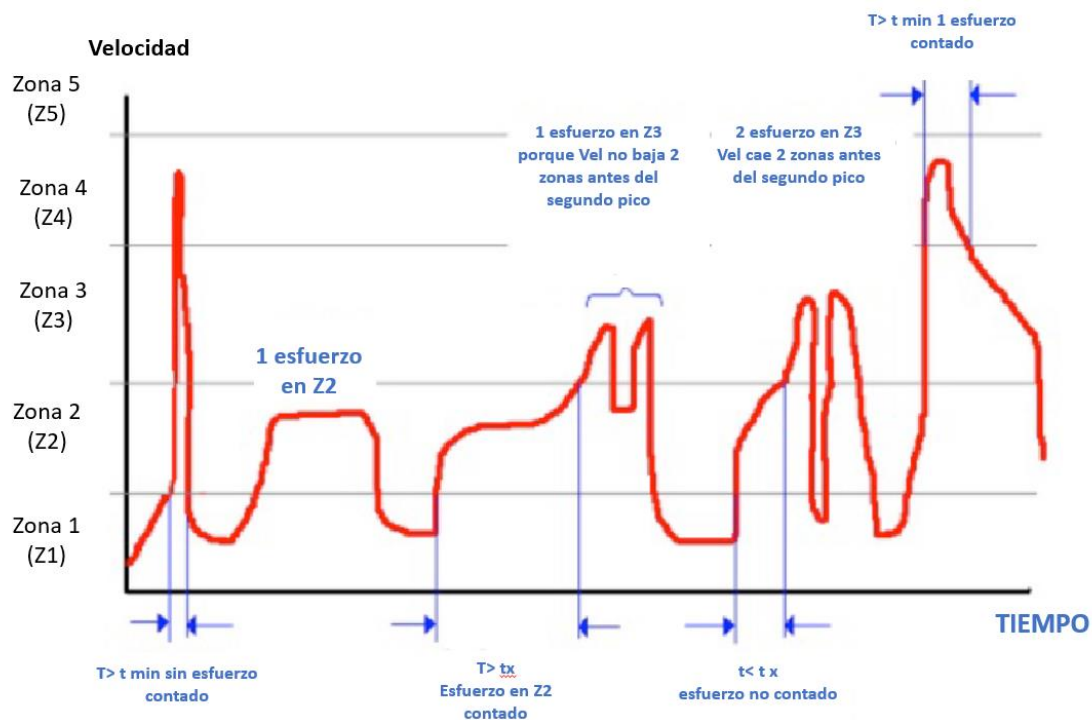
Взято из <https://www.gpexe.com/how-detect-high-intensity/>

Однако следует отметить, что программное обеспечение использует временные окна, на основе которых учитываются или не учитываются усилия. На нижнем изображении



показано на левой стороне действие, которое достигает скорости зоны 4, но поскольку продолжительность действия меньше, чем продолжительность времени, используемого в качестве фильтра, она не учитывается. Также, устанавливается ряд критериев для двух последовательных действий, которые могут учитываться или нет. Например, можно обнаружить что когда достигается 33 и скорость не падает две зоны (в данном конкретном примере до 31), её возвращение к 33 не считается новым действием, а продолжением предыдущего действия. Потому что критерии и временные окна, используемые программным обеспечением различных фирм, которые продают этот тип продуктов не являются постоянными, что позволяет пользователям вносить модификации в некоторые из них. Поэтому важно, чтобы пользователи знали эти критерии, применяемые используемым программным обеспечением.

Изображение 4.4. Скорость-время с примерами использования временного окна и критериями, связанными с учётом усилий.



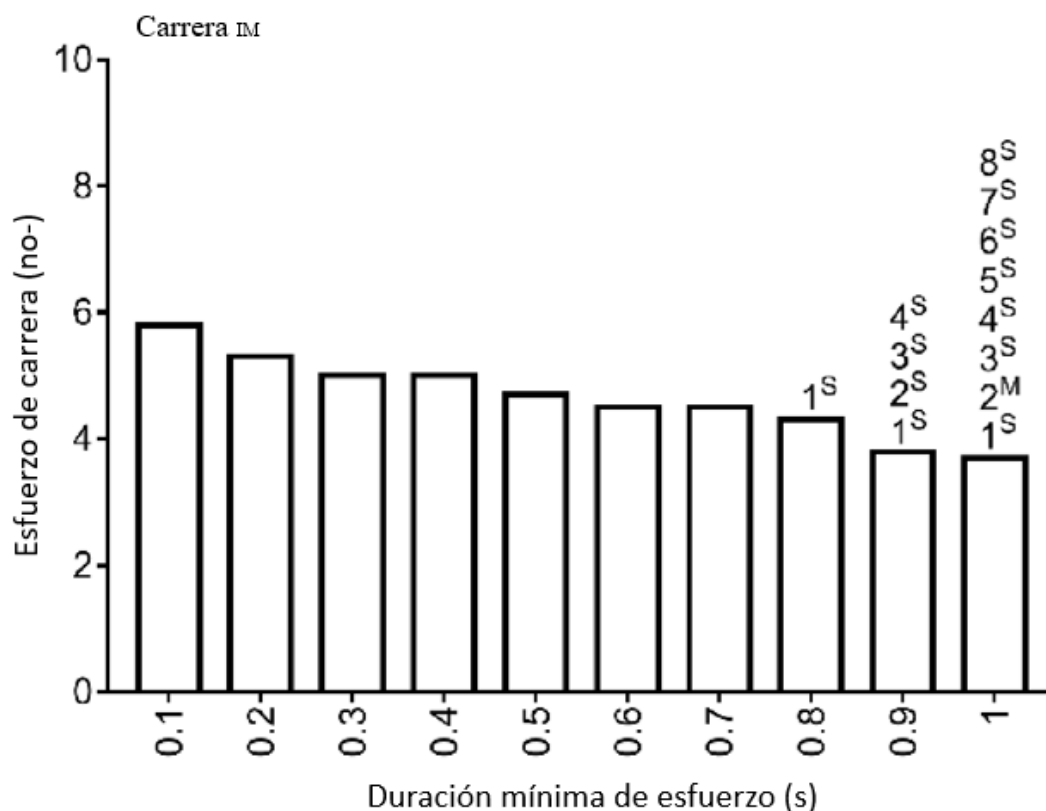
Velocidad	Скорость
Zona 5 (Z5)	Зона 5 (35)
Zona 4 (Z4)	Зона 4 (34)
Zona 3 (Z3)	Зона 3 (33)
Zona 2 (Z2)	Зона 2 (32)
Zona 1 (Z1)	Зона 1 (31)
1 esfuerzo en Z2	1 усилие в 32
1 esfuerzo en Z3 porque Vel no baja 2 zonas antes del segundo pico	1 усилие в 33 поскольку Скорость не падает 2 зоны до второго пика
2 esfuerzo en Z3 Vel cae 2 zonas antes del segundo pico	2 усилия в 33 Скорость падает 2 зоны до второго пика
T > t min 1 esfuerzo contado	T > t мин 1 посчитанное усилие

TIEMPO	ВРЕМЯ
T > t min sin esfuerzo contado	T > t мин без 1 посчитанного усилия
T > tx Esfuerzo en Z2 contado	T > tx Усилие в 32 усчитанное
t < t x esfuerzo no contado	t < t x не усчитанное усилие

Взято из книги *Catapult Sprint*.

Поэтому, на следующем изображении видно, что, когда временное окно (минимальная продолжительность усилия, для того чтобы оно было усчитано) увеличивается, количество зарегистрированных действий в данный период времени (например, во время матча) уменьшается. В этом смысле важно быть последовательным в применении временных окон, особенно если мы будем делать сравнение между данными спортсменов, проанализированных другим компьютером (программное обеспечение которого, может быть настроено по-разному), полученных с другой моделью устройства и/или с другой фирмы устройств. Даже обновления одного и того же программного обеспечения могут изменить установленное временное окно, что приведет к изменениям в полученных результатах.

Изображение 5. Количество действий на скорости спринта, выполненных игроками во время матча, используя различную минимальную продолжительность усилий.



Carrera IM	Бег
Esfuerzo de carrera (no-)	Усилие бега (но-)
Duración mínima de esfuerzo (s)	Минимальная продолжительность усилия (с)

Взято из Varley и др., 2017.

Подход, основанный только на скорости, был самым традиционным. Однако следует обратить внимание на некоторые пункты:

- Только при превышении определенного уровня скорости, действия будут считаться высокоинтенсивными. Таким образом, короткое усилие в пространстве и времени, сделанные спортсменом на максимальной интенсивности не будут классифицированы, если оно не достигнет этого уровня скорости. Давайте подумаем о 5-метровом ускорении, сделанным с остановки футболистом, не является это ли высокоинтенсивное действие?

- Порог скорости для классификации действий как высокоинтенсивными (с точки зрения скорости), является ли общим для других? Индивидуализация диапазонов скорости была рассмотрена в конкретном абзаце.

Учет частоты повторения определенных видов усилий, является обычной практикой (Buchheit и др., 2010), особенно те, которые связаны с повторными высокоинтенсивными действиями (ПВИ или англосаксонский термин RHE или *Повторное Высокоинтенсивное Действие Усилия*). Полученная информация о частоте, продолжительности усилий или частоте происхождения может быть использована чтобы характеризировать профили игроков или демаркаций (Buchheit и др., 2010), требования задач (Casamichana и др., 2013b), среди прочих. Часто понимается, что для того, серия ПВИ считалась таковой, игрок должен выполнить как минимум 3 действия со скоростью, больше установленной (например, $>13 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$) с менее чем 21 секундами восстановления между ними (Spencer и др., 2004), хотя существуют альтернативы в установлении этих требований (Buchheit и др., 2010). В других случаях можно думать о релятивизации процента от индивидуального максимума игрока, вместо абсолютных критериев или диапазонов, т. е. повторные последовательности действий выше 75-80% от максимума, например. Также, максимальная или пиковая скорость, средняя скорость или время нахождения в определенном диапазоне скорости могут быть включены в этот раздел.

4.1.4 Глобальные показатели со скоростью

Среди глобальных показателей интенсивности, обычно использованных чтобы описывать физические требования соревнований или тренировочных задач (в частности, Игр Неполными Составами), пройденное расстояние за минуту ($\text{м}\cdot\text{мин}^{-1}$) является одним из наиболее часто используемых в литературе (Boullosa, Abreu, Nakamura, Muñoz, Dominguez, и Leicht, 2013). Он учитывает ритм (средняя скорость перемещения) и имеет надежность, необходимую для использования в описании физических требований (Jennings и др., 2010). Этот показатель является очень практичным для сравнения действий с различной продолжительностью.

Work: rest ratio (соотношение работа: отдых) является показателем, который соотносится с тем, в какой степени работа и отдых были распределены в задаче,



тренировки или соревнования (Casamichana и Castellano, 2010). Данный показатель является результатом соотношения между пройденным расстоянием игроком в категориях скорости $>4 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$ (период действия или работы) и расстоянием, пройденным в более низком диапазоне скорости ($0\text{-}3.9 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$), которое рассматривается как период восстановления или отдыха – это переменная, которая предоставляет информацию о характере действия (Barbero-Alvarez и др., 2007). Возможности конфигурации этой скорости резания безграничны, и поэтому могут быть изменены в соответствии с оцениваемым контекстом (уровень производительности, пол, возраст, спорт), существуя предложения, которые умеренно далеко отходят от этого значения. Например, Casamichana и Castellano (2010) использовали $6,9 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$ для расчета соотношения работы:отдых.

Exertion index (EI или индекс напряжения) является глобальным индикатором (Wisbey и др., 2010), который получается учитывая скорость (V) передвижений, сделанных исходя из формулы, подробно описанной ниже [где $EI^1 = (V^4 \times 0.000009) - (V^3 \times 0.001) + (V^2 \times 0.0356) - (V \times 0.0596) - 0.0172$, $EI^{10} = (V10^4 \times 0.00003) - (V10^3 \times 0.0004) + (V10^2 \times 0.0477) - (V10 \times 0.0476) + 0.1056$, $EI^{60} = (V60^4 \times 0.00003) - (V60^3 \times 0.0004) + (V60^2 \times 0.0477) - (V60 \times 0.0476) + 0.1056$, где V = скорость $\text{км}\cdot\text{ч}^{-1}$ со 10 Hz (1 секунда), $V10$ = средняя скорость за 10 секунд, $V60$ = средняя скорость за 60 секунд]:

$$\text{Exertion Index} = (\text{Сумма } EI^1 + \text{Сумма } EI^{10} + \text{Сумма } EI^{60})/300$$

Этот показатель уже используется в групповых видах спорта, таких как австралийский футбол (Wisbey и др., 2010) и в футбольных тренировках (Casamichana и Castellano, 2010), для количественной оценки усталости или требований в зависимости от масштаба задачи, соответственно.



4.2 Переменные типа/уровня 2

Они относятся ко всем событиям, связанным с изменениями скорости: ускорения, замедления и изменения направления. Эта информация предоставляется с более высоким или более низким уровнем надежности и действительности многими устройствами, которые сегодня продаются (Buchheit и Simpson, 2016).

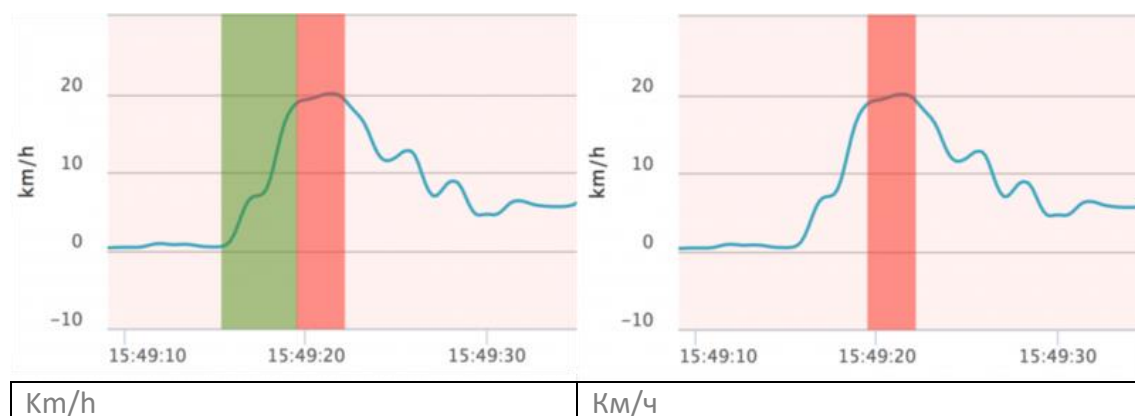
4.2.1 Ускорения и замедления

Ускорение является метаболически требовательной деятельности, которая увеличивает расход энергии действия и мышечную усталость по сравнению с, когда сравнивается с передвижением с постоянной скоростью (Osgnach и др., 2010). В коллективных видах спорта, таких как футбол, ускорения, замедления и изменения направления имеют высокую частоту. В конкретном случае футбола, более 85% максимальных ускорений не достигают высоких категорий скорости передвижения ($>4.17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$; Varley и Aughey, 2013).

Поэтому, эти действия не будут считаться высокоинтенсивными в традиционном и упрощенном анализе, который учитывает скорость передвижения спортсменов, недооценивая действия высокой интенсивности, выполненных спортсменами.

Максимальные ускорения ($>2.78 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) происходят на 8 раз чаще по сравнению с действиями спринтом (Varley и Aughey, 2013). Поэтому необходимо углубленно изучить эти виды действий во время футбольных тренировок и/или матчей (применимых к коллективным видам спорта в целом). Это новое измерение становится актуальным при описании требований футболистов, так как могут недооцениваться действия, выполненные с максимальным ускорением, но с низкой скоростью, поэтому некоторые авторы уже начали обращать на них внимание (Castellano и др., 2013a; Varley и др., 2011).

Изображение 6. График времени-скорости футболиста во время матча. На графике слева показана фаза ускорения зеленым цветом, а красным - фаза высокоскоростного передвижения. На изображении справа только рассматривается фаза, в которой скорость передвижения составляет $>19.8 \text{ км/ч}^{-1}$.



Взято из <https://www.gpexe.com/how-detect-high-intensity/>

В усилиях, изученных выше, зеленая фаза представляет собой фазу ускорения, которая не рассматривается как часть высокой интенсивности, когда рассматривается только параметр скорости передвижения. Однако, как видно в прилагаемой таблице, энергия, требуемая этим действием, даже выше, чем требование спортсмена, когда он передвигается на высокой скорости (красная фаза движения).

Таблица 1. Пройденное расстояние и энергия, требуемая действием ускорения и передвижением, сделанным на высокой скорости.

#Evento de velocidad	Distancia (m)	Energía (J.Kg -1)	#evento acc	Distancia (m)	Energía (J.Kg -1)
1	14	64	1	11	101

#Evento de velocidad	#Действие со скоростью
Distancia (m)	Расстояние (м)
Energía (J.Kg -1)	Энергия (Дж.Кг -1)
#evento acc	#действие уск
Distancia (m)	Расстояние (м)
Energía (J.Kg -1)	Энергия (Дж.Кг -1)

Взято из <https://www.gpexe.com/how-detect-high-intensity/>

При определении категорий интенсивности в ускорениях и замедлениях, различные авторы использовали различные пороги абсолютной интенсивности. Далее мы обобщим некоторые из предложений, которые использовались чаще всего:

- Ускорения максимальной интенсивности были установлены исходя из значений $2.78 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (Varley и др., 2013), $3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (Hodgson и др., 2014) и $4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (Farrow и др., 2008).
- Действия умеренной интенсивности были установлены между 2 и $4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (Higham и др. 2012).
- Другие авторы предпочитают устанавливать диапазоны низкой интенсивности ($1.5\text{-}3.0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$), умеренной интенсивности ($3.0\text{-}4.0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$) и высокой интенсивности ($>4.0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$; Buchheit и др., 2014).

Изображение 7. Ускорение в зависимости от времени, где указаны три действия, превышающие порог, определяемый как высокоинтенсивный, который в приведенном примере отмечен интенсивностью $2.5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$.



Pistas	Дорожки
Aceleración	Ускорение
m/s ²	м/с ²

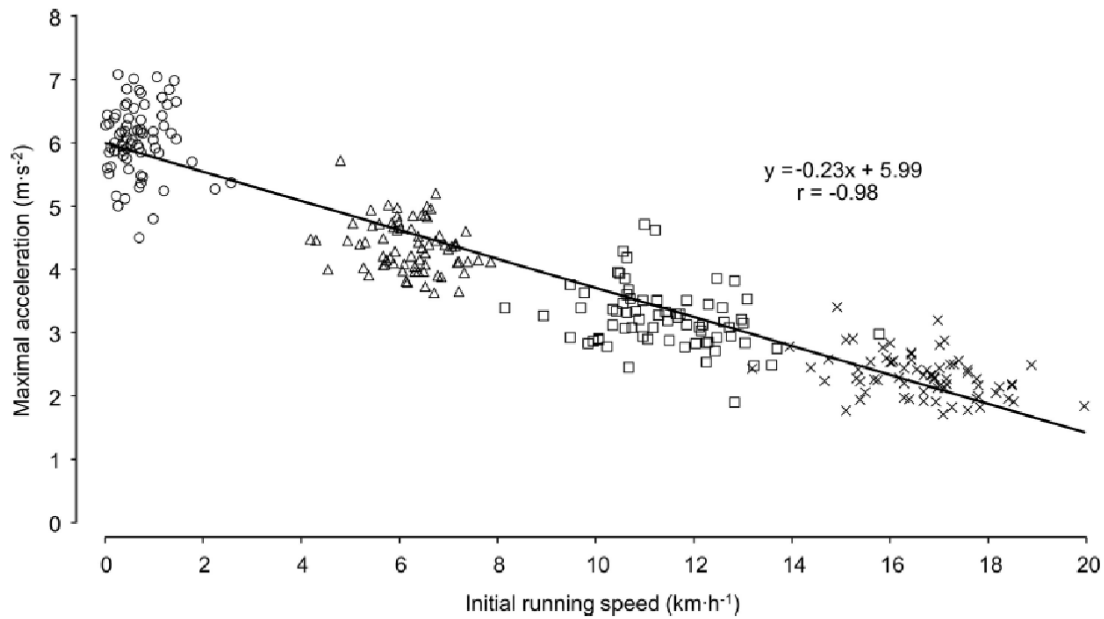
Взято из <https://www.gpexe.com/how-detect-high-intensity/>

Когда мы определим порог, с которого можно будет классифицировать действия высокоинтенсивными, мы глубоко изучим эти действия. Прилагаемый пример использует порог $>2.5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ и $<-2.5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ чтобы классифицировать ускорения и замедления высокоинтенсивными. Мы должны иметь в виду, что не всегда до действия высокоскоростного передвижения предшествует действие высокого уровня ускорения, так как спортсмен может дольше понемногу ускоряться.

В этом смысле максимальная способность спортсмена к ускорению связана с его физическими способностями, и поэтому, поскольку регистрационные системы будут улучшать их надежность, действительность и точность, эти пороги интенсивности должны будут соответствовать индивидуальным профилям игрока. Также, максимальная способность спортсмена к ускорению зависит от начальной скорости движения, так что, если начальная скорость движения выше, максимальная способность спортсмена к ускорению уменьшается. Таким образом, использование абсолютных пороговых значений интенсивности ускорения (например, считаются действиями с высокой интенсивностью ускорения, действия превышающие значение $3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$) может недооценивать действия, выполненные спортсменом с начальной высокой скоростью передвижения, в то время как может переоценивать действия, выполненные с низкой скоростью передвижения (Sonderreggeret и др., 2016).

Изображение 4.8. Взаимосвязь между максимальной способностью ускорения и начальной скоростью передвижения.





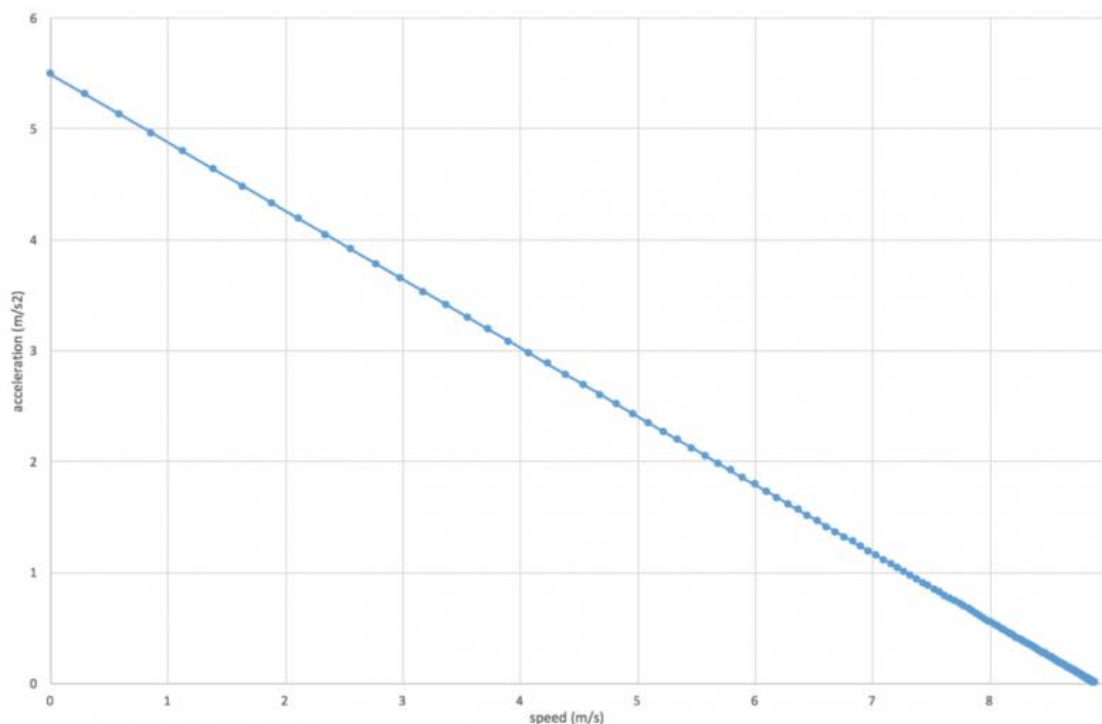
Initial running speed	Начальная скорость передвижения (км.ч ⁻¹)
Maximal acceleration (m. s ⁻²)	Максимальная способность ускорения (м. с ⁻²)

Взято из Sonderegger и др. (2016).

Давайте посмотрим более конкретный пример. На изображении 4.9 показана взаимосвязь между начальной скоростью движения и максимальным ускорением, которое способен сделать спортсмен. Если считать значение $>2.5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ в качестве порога для классификации действий высокоинтенсивными, этот порог представляет максимальное усилие, если начальная скорость близка к $5 \text{ м} \cdot \text{с}$, но тем не менее он представляет собой порог ниже 50% от максимальных возможностей спортсмена при ускорении от остановки.

Изображение 4.9. Взаимосвязь между начальной скоростью движения и максимальной способностью ускорения спортсмена во время максимального спринта.





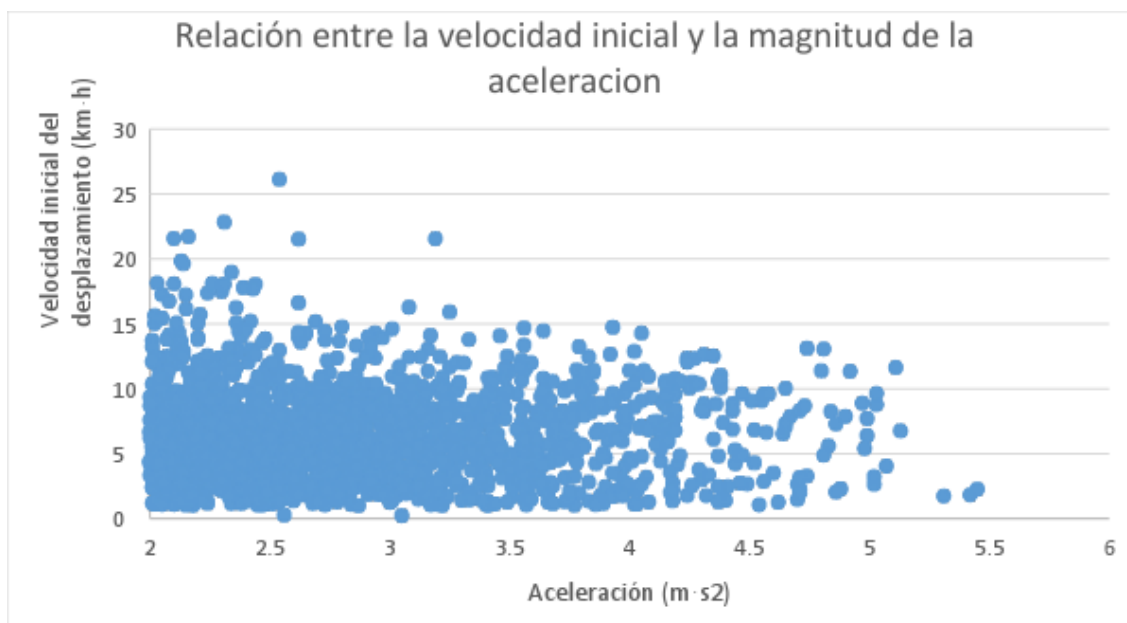
Speed (m/s)	Скорость (м/с)
Acceleration (m. s ²)	Ускорение (м. с ²)

Взято из <https://www.gpexe.com/how-detect-high-intensity/>

Ниже приведены ускорения 10 игроков на поле, участвующих во время юношеского футбольного матча, и устанавливается связь между начальной скоростью передвижения и величина ускорения. Как вы можете видеть, по мере увеличения начальных скоростей передвижения, масштабы ускорений, сделанных спортсменами, уменьшаются. Например, нет ускорений выше $3.5 \text{ м}\cdot\text{с}^2$ с начальными скоростями передвижения более чем $15 \text{ км}\cdot\text{ч}$. Мы должны иметь в виду, что это изображение представляет начальную скорость ускорений, сделанных игроками во время соревнований, в то время как диаграмма Sondereggerer и др. (2016) (из. 4.8) показывает максимальные значения, полученные спортсменами в гонках с различными первоначальными скоростями передвижения.

Изображение 4.10. Взаимосвязь между начальной скоростью передвижения и величиной ускорения во время матча молодежной категории.





Relación entre la velocidad inicial y la magnitud de la aceleración	Взаимосвязь между начальной скоростью передвижения и величиной ускорения
Aceleración (m.s2)	Ускорение (м.с2)
Velocidad inicial del desplazamiento (km.h)	Начальная скорость передвижения (км.ч)

Ниже приводится пример профессионального футболиста (1-й испанский дивизион) во время матча Лиги. Можно обнаружить что, когда скорость передвижения увеличивается, уменьшаются ускорения, выполненные с высокой интенсивностью. В частности, можно заметить, что не происходят никакие ускорения с интенсивностью больше, чем $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ на скоростях более, чем $24 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, в то время как при начальной скорости передвижения от 7.3 и $14.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, спортсмен выполняет во время изучаемого матча 20 действий ускорения с интенсивностью, более, чем $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Таблица 4.2. Количество действий ускорения в различных диапазонах интенсивности для различных начальных скоростей. Информация, полученная во время профессионального футбольного матча, с помощью программного обеспечения Catapult *Sprint*.

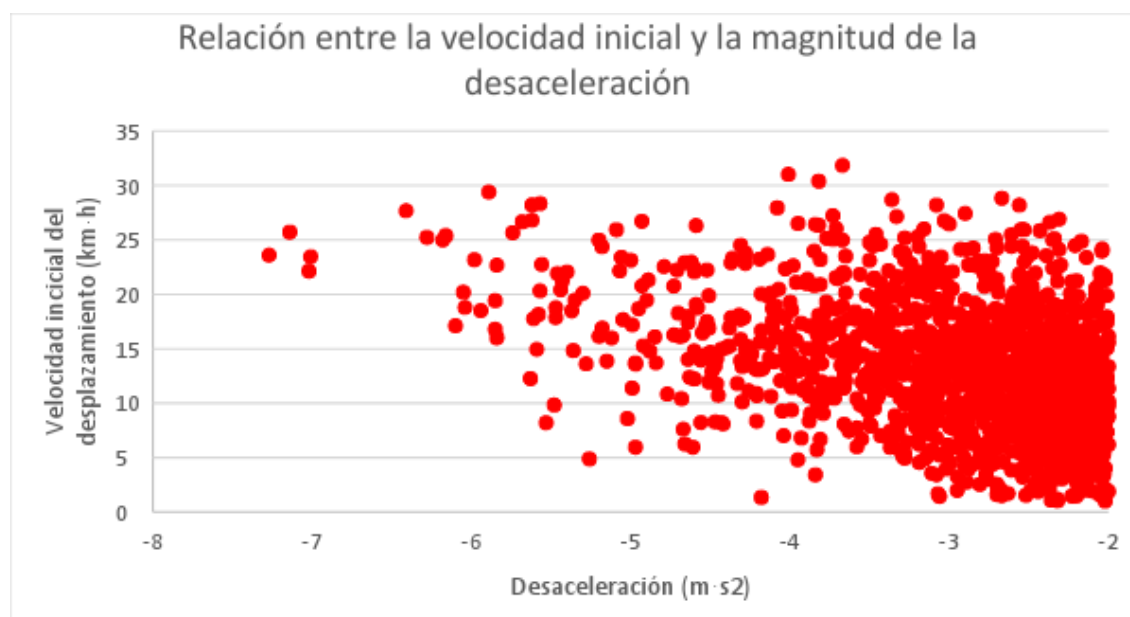
	Vel. Band		0-2 km/h	2-7,3 km/h	7,3-14 km/h	14-21 km/h	21-24 km/h	24-100 km/h
Start Accel.	0-1 m/s ²	#	0	119	35	30	6	4
	1-2 m/s ²	#	0	34	38	58	9	2
	2-4 m/s ²	#	0	61	29	39	5	2
	4+ m/s ²	#	0	21	20	9	1	0

Start Accel.	Начальное ускорение
m/s2	м/с ²



Однако поведение замедления по отношению к начальной скорости передвижения является противоположным. Существует взаимосвязь между масштабом замедления и начальной скоростью передвижения. То есть во время соревнований по футболу, чтобы игрок произвёл значительное замедление, необходимо, чтобы скорость движения была высокой. В представленном примере мы видим, как все замедления с величиной, близкой к $-6 \text{ м}\cdot\text{с}^2$ или выше, происходят с начальной скоростью более $15 \text{ км}\cdot\text{ч}$.

Изображение 4.11. Взаимосвязь между начальной скоростью передвижения и величиной замедления во время матча молодежной категории.



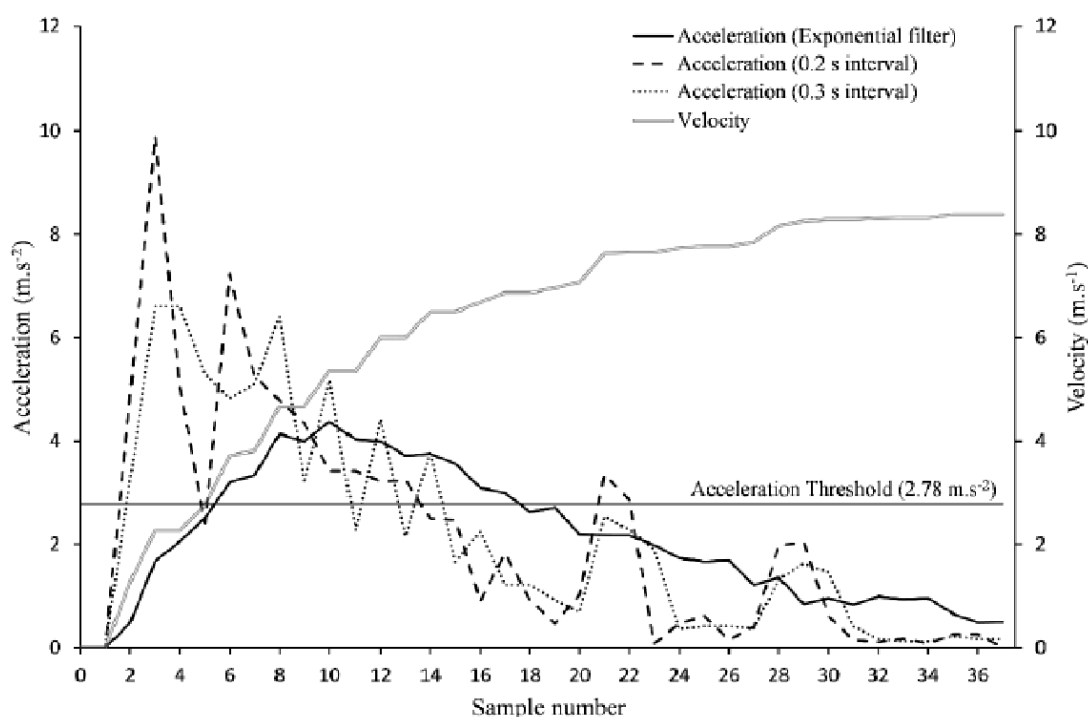
Relación entre la velocidad inicial y la magnitud de la desaceleración	Взаимосвязь между начальной скоростью передвижения и величиной замедления
Desaceleración (m.s2)	Замедление (м.с2)
Velocidad inicial del desplazamiento (km.h)	Начальная скорость передвижения (км.ч)

Один из аспектов, что нужно знать это, что значения ускорения (количество действий, расстояние, пройденное в метрах или % от общего числа, время в секундах или % от общего) получены из значений позиционирования, как производные от скорости, а не от акселерометров, которые содержат некоторые из устройств что сегодня продаются. Это оправдывает то, что надежность и обоснованность измерений ускорения зависит от ускорений и скорости, с худшими результатами, когда скорость передвижения и/или величина ускорения увеличивается (Akenhead и др., 2014).

Высокие различия между измерительными приборами оправдывают необходимость осуществления мониторинга игроков всегда с одним и тем же устройством, и поддерживает необходимость быть осторожными при выполнении сравнений между игроками (Buchheit и др., 2014).



Изображение 12. Скорость передвижения, полученная с помощью GPS и ускорение во время спринта на 40 м. График демонстрирует эффект фильтрации, когда ускорение получается от скорости с разными интервалами (0.2 и 0.3 секунды) и при обработке данных с помощью экспоненциального фильтра (полученное ускорение с интервалом 0.2 секунды). Порог, определенный для идентификации усилий высокоинтенсивного ускорения, был $2.78 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$.



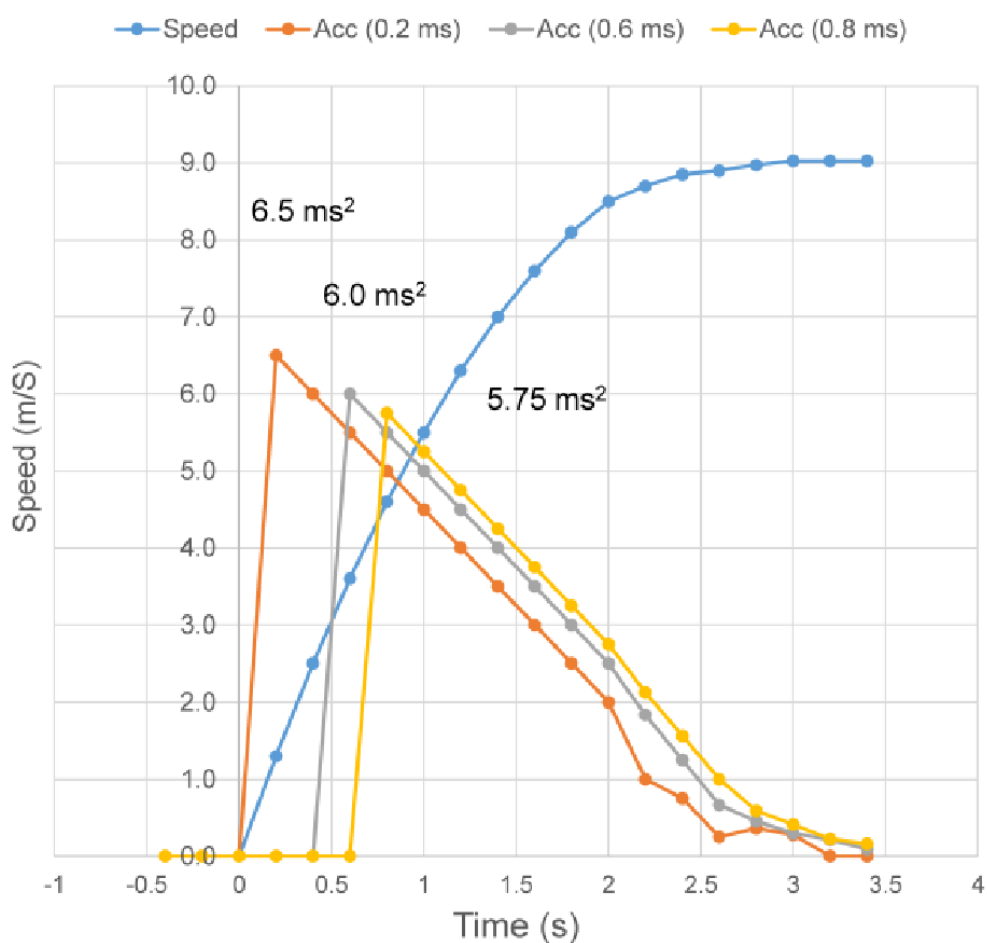
Acceleration ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	Ускорение ($\text{м}\cdot\text{с}^{-2}$)
Sample number	Номер образцов
Acceleration Treshold ($2.78 \text{ м}\cdot\text{s}^{-2}$)	Порог Ускорения ($2.78 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$)
Velocity ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Скорость ($\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$)
Acceleration (Exponential filter)	Ускорение (Экспоненциальный Фильтр)
Acceleration (0.2 s interval)	Ускорение (интервал 0.2 с)
Acceleration (0.3 s interval)	Ускорение (интервал 0.3 с)
Velocity	Скорость

Взято из Varley и др. (2017).

Другие аспекты конфигурации влияют на зарегистрированные значения ускорения/замедления. Окно времени является одной из переменных, которая имеет наибольшее влияние в этом отношении. Авторы обычно используют временные окна от 0.2 до 0.8 секунд. Как видно на следующем изображении, этот аспект изменяет полученные максимальные значения ускорения. Для того же действия максимального ускорения получаются значения $6.5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ при временном окне 0.2 секунд, в то время как,

когда для того же действия применяется временное окно 0.8 секунд, то максимальное ускорение представляет значения 5.75 м. с².

Изображение 4.13. Значения максимального ускорения в течение спринта на 20 м, с временными окнами 0.2, 0.6 и 0.8 секунд для расчета ускорения. По мере сокращения временного окна увеличивается максимальное зарегистрированное значение ускорения. Сегодня до сих пор существуют расхождения, и нет консенсуса о временной продолжительности "окна". Это вызывает большие ограничения, при исследовании фактического ускорения, сделанного спортсменом, и делает трудно сравнять между работами, или записями, полученными с различными моделями устройств.

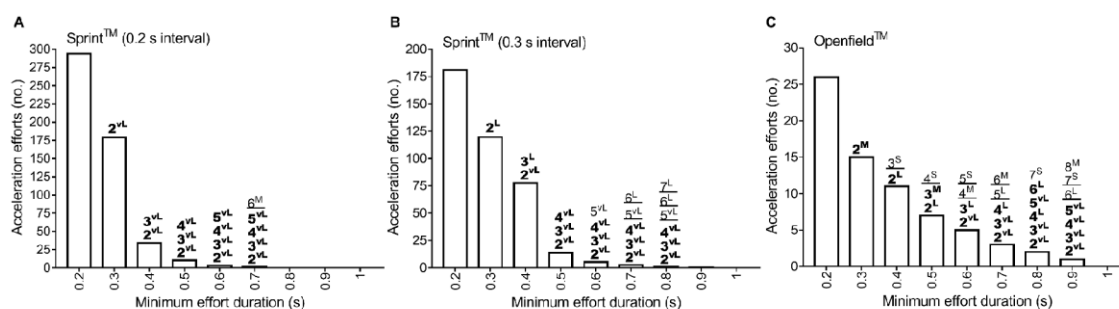


Speed (m/s)	Скорость (м/с)
Speed	Скорость
Acc (0.2 ms)	Уск (0.2 мс)
Acc (0.6 ms)	Уск (0.6 мс)
Acc (0.8 ms)	Уск (0.8 мс)
ms ²	мс ²
Time (s)	Время (с)

Взято из Buchheit и Simpson (2016).

Другие аспекты, такие как метод фильтрации сигнала, изменяют результаты. Даже различные обновления одного и того же продукта изменяют полученные результаты, что затрудняет накопление информации на протяжении многих лет (Buchheit и Simpson, 2016).

Рисунок 4.14. Количество усилий по ускорению, предпринятых футболистами во время матча, когда использовались в обнаружении различные продолжительности усилий и различное временное окно фильтрации. На фигуре А ускорение происходит от скорости с интервалом 0.2 секунд, в то время как на фигуре Б используется 0.3 секунд в качестве продолжительности временного окна. В фигуре В (*Openfield*) ускорение происходит от данных о скорости с интервалом в 0.2 секунды, а затем применяется экспоненциальный фильтр.



A	A
B	Б
C	В
Sprint™ (0.2 s interval)	Спринт™ (интервал 0.2 с)
Sprint™ (0.3 s interval)	Спринт™ (интервал 0.3 с)
Acceleration efforts (no.)	Усилия для ускорения (но.)
Minimum effort duration (s)	Продолжительность минимального усилия (с)
Openfield™	Openfield™

Взято из Varley и др. (2017).

Delaney и др. (2017) подробно изучили различные показатели ускорения и замедления, которые классически используются для мониторинга действий игроков, принадлежащих к коллективным видам спорта, так как происходит и с переменными типа/уровня 1, изучение ускорений и замедлений позволяет подходить к различным переменным. Мы можем записывать абсолютные значения, или в разных диапазонах интенсивности ускорения, которые, в свою очередь, могут быть настроены абсолютно или по отношению к максимальному потенциалу спортсмена. Кроме этого, мы можем записывать пройденное расстояние по мере ускорения/замедления, количество действий по ускорению/замедлению или по мере потраченного времени на такие действия. Также, мы могли бы обобщить действие ускорения и замедления выражая его в $m \cdot c^2$, и даже могли бы интегрировать ускорения и замедления в одно значение ($m \cdot c^2$). Что касается различных зон интенсивности (низкая интенсивность $>1 m \cdot c^2$, средняя интенсивность $>2 m \cdot c^2$ и высокая интенсивность $>3 m \cdot c^2$), авторы указывают на то, что надежность измерений ухудшается по мере увеличения интенсивности действий.

Также, надежность повышается по мере увеличения частоты дискретизации GPS устройств. Что касается различных мер (средняя, расстояние, время и количество действий), следует отметить, что:

- Среднее значение $m \cdot c^2$ имеет самые высокие значения надежности.
- Ускорения и замедления, выраженные во времени и метрах, имеют худший уровень надежности по сравнению с тем, когда они выражены как количество действий.
- Различия между демаркациями появляются существенно, когда время используется, ускоряя и замедляя, в то время как эти различия становятся менее ясными, когда учитываем количество или расстояние в различных зонах интенсивности. Средние значения ($m \cdot c^2$) обнаруживают существенные различия между позициями.
- Что касается отношения к восприятию мышечной боли, за исключением количества ускорений и замедлений высокой интенсивности, все изученные переменные были умеренно связаны между собой.

Основываясь на результатах, полученных в этой работе, авторы подчеркивают использование средних значений ускорения и замедления в качестве наиболее подходящей переменной из-за её более высокой надежности между единицами, представляя высокую чувствительность при обнаружении различий между демаркациями и связью с мышечной усталостью, вызванной у спортсмена (Delaney и др., 2017).

Таким образом, изучение ускорений в футболе показывается очень интересным, представляя себя как чувствительную переменную к изменениям в соревновании (Akenhead, 2014), между демаркациями (Casamichana, и др. 2012b) или во время различных тренировочных задач (Hodson и др., 2014).

Обычно (Aughey, 2010; Cunniffe и др., 2009), для количественной оценки внешней тренировочной нагрузки исходя из этих переменных записывается количество, расстояние и время нахождения в ускорениях сделанных в различных зонах интенсивности: между 1.0-1.5 $m \cdot c^2$, между 1.5-2.0 $m \cdot c^2$, 2.0-2.5 $m \cdot c^2$ и $>2.5 m \cdot c^2$; то же самое в негативном варианте для замедлений. Важно иметь в виду, что не должны учитываться диапазоны ускорения/замедления между +1 и -1 $m \cdot c^2$, и также значения, которые выше +4 и ниже -4 $m \cdot c^2$, потому что они могут быть серьезно скомпрометированы в их точности и надежности (Akenhead et al., 2014).

4.2.2 Метаболическая мощность

По-новому, в попытке минимизации объема данных и получения глобального параметра нагрузки, выдержанной игроком, с учетом прерывистого многонаправленного характера вида действий спортсмена, была включена оценка энергетической стоимости (ЭС или *energy cost*) и метаболическая мощность *metabólica* (или *metabolic power*), основанные на скорости и ускорении, соответственно (di Prampero и др., 2005; Osgnach и др., 2010).

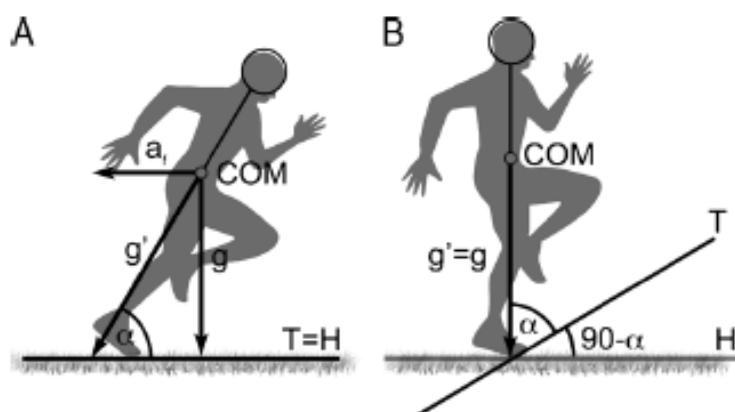
Метаболическая мощность включает в себя скорость и ускорение для определения расхода энергии действия. Метаболическая мощность, которая является



продуктом мгновенной скорости и затрата или стоимости энергии действия, является мерой, которая относится к количеству энергии на единицу времени, для восстановления АТФ, используемого в выполненной задаче.

Такой подход учитывает потребности в энергии, связанные с ускорениями/замедлениями, которые часто происходят во время игры, которые, похоже недооцениваются в футболе, в дополнение, конечно, к скорости передвижения (Gaudino и др., 2013). Чтобы понять эту идею, пример, который представляет Di Prampero (2005) заключается в том, бегать по плоскости с наклоном с постоянной скоростью имеет более высокую стоимость энергии по сравнению с тем, что бы означало бегать с той же скоростью, но на плоской поверхности.

Изображение 4.15. Упрощенное графическое представление сил, действующих на объект во время бега с ускорением. Взято и изменено из Di Prampero (2005) Osgnach и другими (2010). COM относится к центру массы; T относится к земле; H относится к горизонтальной; g относится к ускорению гравитации; f относится к ускорению вперед; g' относится к векторной сумме a_f и g. Бег в ускорении на горизонтальной плоскости (изображение А) эквивалентен постоянной скорости поднимаясь (изображение Б). В обоих случаях угол земли с телом является постоянным.



A	A
B	Б

Osgnach и др. (2010) и Gaudino и др. (2013) предложили, чтобы задача выполненная футболистами с высокой интенсивностью во время матчей и тренировок, будет в 2 и 3 раза больше, соответственно, если будет использоваться модель, которая включает стоимость энергии по отношению к традиционному подходу, основанному на скорости. Такая недооценка высокоинтенсивной задачи обусловлена тем, что игроки во время матча часто передвигаются на низких скоростях, но с высокими ускорениями и с перерывами во время игры.

Также, эта недооценка возрастает, когда задачи, поставленные в тренировочном процессе, выполняются меньшим количеством игроков и в более низких относительных и абсолютных пространствах, поскольку в таких форматах игроки не могут достичь



высоких скоростей движения (недооценка показателя на основе этой меры) при частом ускорении/замедлении (Castellano и Casamichana, 2013a).

Из такого подхода к метаболической мощности возникает множество переменных. Не претендуя их описывать исчерпывающим образом, мы детально опишем некоторых из тех, которые были использованы в научной литературе:

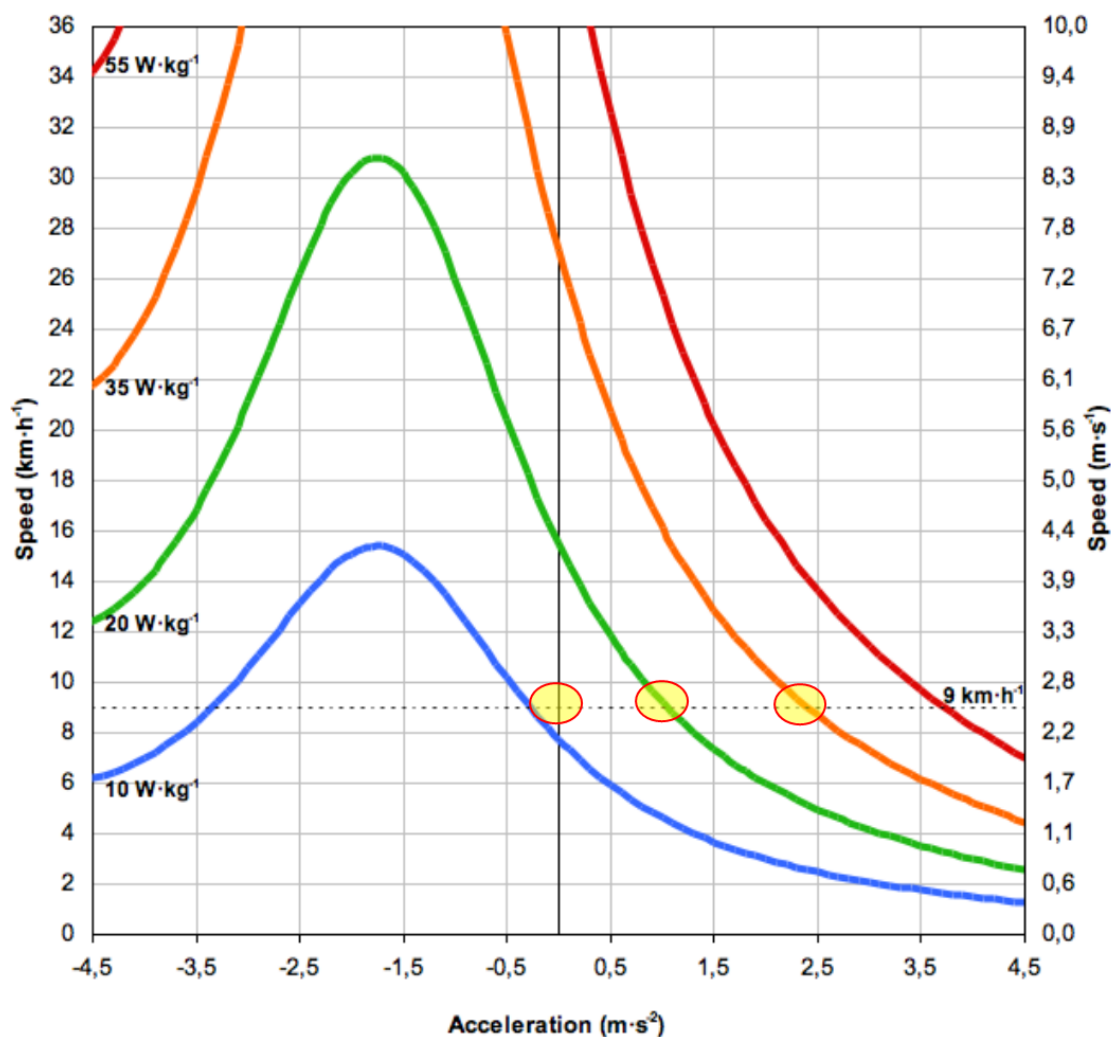
- Средняя или максимальная метаболическая мощность (Вт/кг): Средняя метаболическая мощность относится к среднему значению, полученному за определённое время, в то время как максимальное значение, также выраженное в Вт/кг, относится к самому высокому значению, зарегистрированному во время мероприятия, и поэтому является значением, которое относится к моменту, в котором достигается пиковое значение. Таблица 4.3 показывает средние значения метаболической мощности (Вт/кг) профессиональных футболистов в первой и второй части матча на основе позиции, занятой игроками на поле (неизданные данные). Как видно, во всех изученных позициях средняя метаболическая мощность, полученная во второй части, является ниже значений, полученных в первой части, со значениями, близкими к 10%.

Таблица 4.3. Средние значения метаболической мощности (Вт/кг) во время 1-й и 2-й части официальных футбольных матчей, в зависимости от занятой позиции игроками, и % разницы между значениями, полученными в зависимости от изучаемой части.

	Часть 1	Часть 2	Разница (%)
Центральный защитник	9.7 ± 0.6	8.8 ± 0.6	-9.1 ± 2.1
Боковой защитник	10.2 ± 0.8	9.4 ± 0.7	-7.7 ± 2.1
Полузащитник	10.8 ± 1.2	9.9 ± 1.1	-8.6 ± 4.4
Внутренний	11.0 ± 1.0	9.8 ± 1.2	-11.4 ± 3.5
Нападающий	9.4 ± 1.2	8.6 ± 1.3	-8.3 ± 4.0
Среднее значение	10.2 ± 1.1	9.3 ± 1.1	-9.0 ± 1.7

Изображение 4.16. Расход энергии в зависимости от скорости и ускорения. Три возможности, сделанные с одинаковой скоростью передвижения, окрашены желтым цветом ($9 \text{ км}\cdot\text{ч}^{-1}$). В первом случае, когда ускорение является $0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$, то метаболическая мощность составляет 13 Вт/кг; во втором случае ускорение составляет $1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$, а метаболическая мощность составляет 20 Вт/кг и, наконец, в третьей ситуации ускорение составляет еще $2.4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$, а метаболическая мощность 35 Вт/кг.



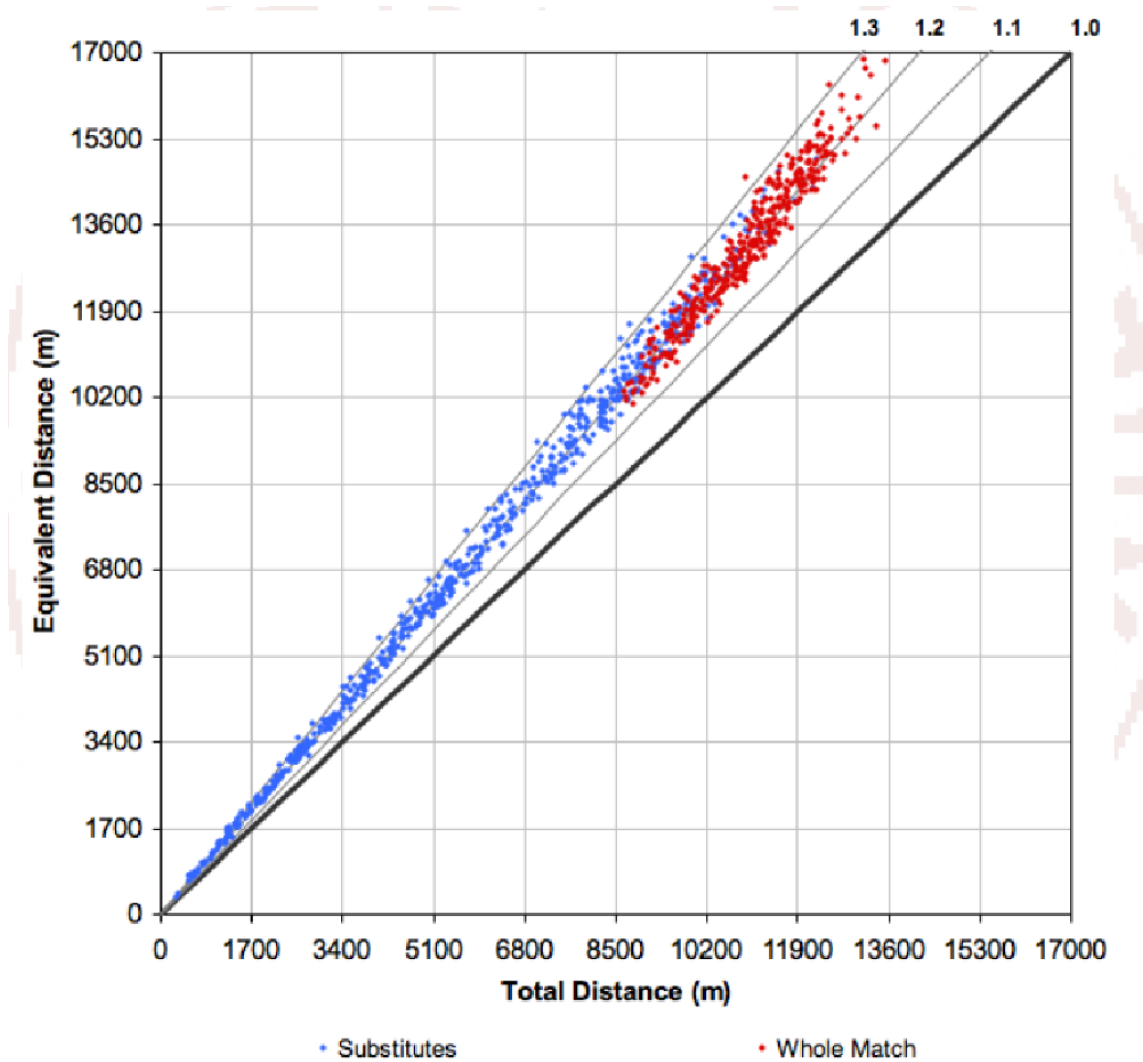


Acceleration (m.s ⁻²)	Ускорение (м.с ⁻²)
Speed (m.s ⁻¹)	Скорость (м.с ⁻¹)
Speed (km.h ⁻¹)	Скорость (км.ч ⁻¹)
W.kg ⁻¹	Вт.кг ⁻¹

Взято из Osgnach и др. (2009).

- *Equivalent Distance* или эквивалентное расстояние (ЭР): Эквивалентное среднее расстояние, т.е. расстояние, которое спортсмен преодолел бы в устойчивом ритме на траве с той же энергией, затраченной в упражнении. ЭР является 20% выше (в среднем) пройденного расстояния. Оно имеет линейную связь с пройденным расстоянием. ЭР зависит от пройденного расстояния и "как" это расстояние было пройдено. На изображении 4.17 показана взаимосвязь между общим пройденным расстоянием и ЭР для запасных игроков (которые проходят более короткое расстояние) и игроками, которые завершают матч. Во всех случаях расход энергии в футболе выше, чем расход энергии на бег одного и того же расстояния на постоянной скорости.

Изображение 4.17. Отношение между эквивалентным расстоянием и общим пройденным расстоянием для игроков, которые завершают матч, и для запасных игроков.



Equivalent Distance (m)	Эквивалентное Расстояние (м)
Total Distance (m)	Общее расстояние (м)
Substitutes	Запасные игроки
Whole Match	Целый Матч

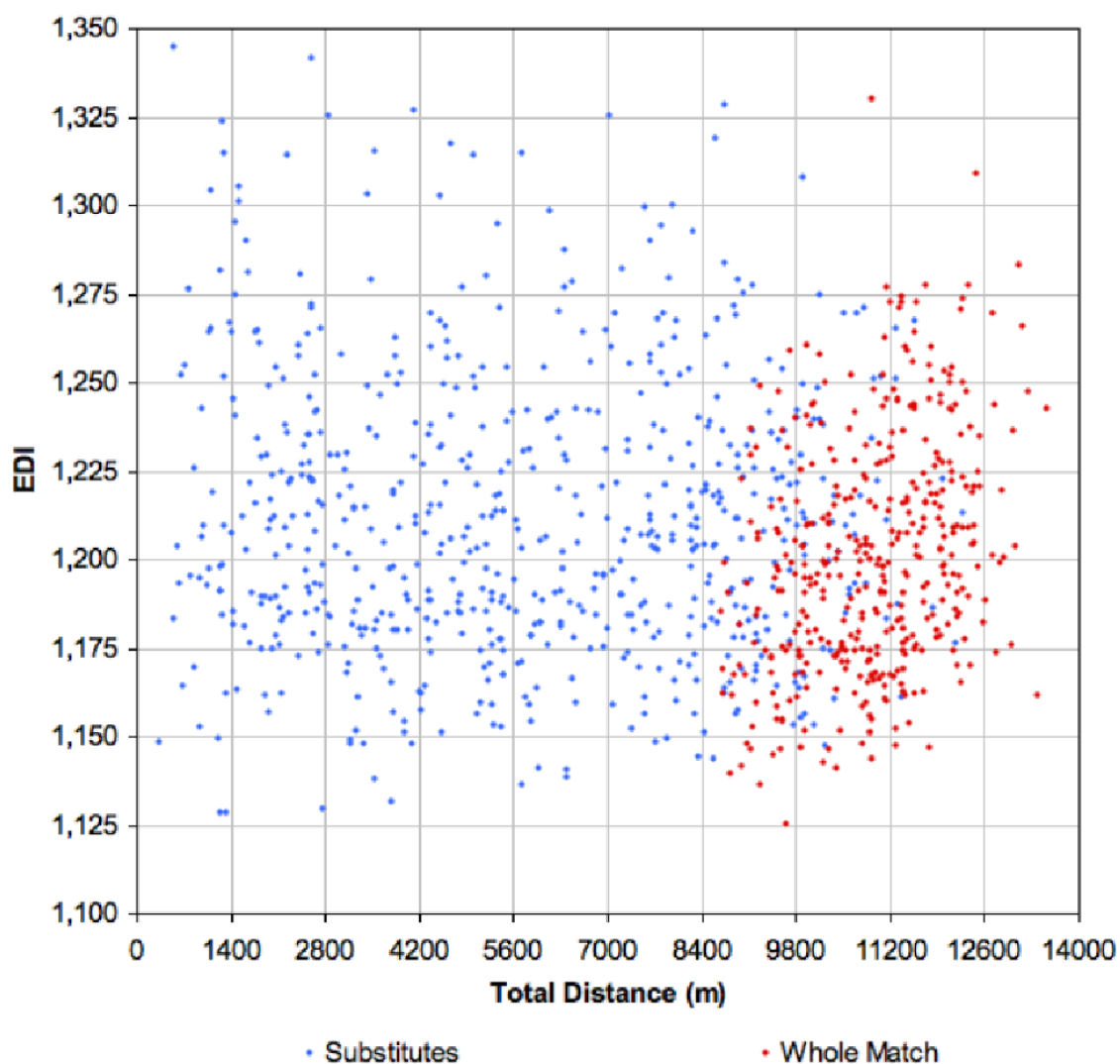
Взято из Osgnach и др. (2009).

- Показатель эквивалентного расстояния (ПЭР): Показатель среднего эквивалентного расстояния, то есть связь между ЭР и фактическим пройденным расстоянием задачи. ПЭР – это взаимосвязь между ЭР/ОР. Ленивые игроки накапливают ПЭР 1.15 в то время, как наиболее динамичные товарищи имеют ПЭР 1.30 (Osgnach и др., 2009). Другими словами, этот показатель дает нам информацию о влиянии действий ускорения на перемещение. Более высокий ПЭР указывает на то, что компонент ускорения был более важным в изученном мероприятии.



Более конкретно, на рисунке 4.18 мы можем увидеть, как количество случаев с очень высоким ПЭР (ПЭР>1.275) выше у запасных игроков, особенно у игроков, которые проходят низкое общее расстояние, из-за того, что находятся всего лишь несколько минут на поле. Эти игроки, которые играют в течение немногих минут имеют высокий компонент ускорения/замедления.

Изображение 4.18. Взаимосвязь между показателем эквивалентного *расстояния* (ПЭР) и расстоянием, пройденным для игроков, которые завершают матч, и для заместителей.



EDI	ПЭР
Total Distance (m)	Общее расстояние (м)
Substitutes	Запасные игроки
Whole Match	Целый Матч

Взято из Osgnach и др. (2009).



Ниже приведены значения, полученные профессиональным футболистом 1-го дивизиона в течение первой, второй половины и средняя матча.

Таблица 4.4. Подробная информация о различных переменных, связанных с метаболической мощностью во время профессионального футбольного матча, полученные с помощью программного обеспечения *Catapult Sprint*.

Period:	1 ^a parte	2 ^a parte	Session
Peak Meta Power (W/kg)	223,58	151,45	223,58
Energy (KJ/kg)	26,04	23,03	50,67
Energy (Cal/kg)	6,41	5,70	12,11
Est Dist	7330	6487	13818
EDI	1,32	1,32	1,32

Period	Период
1 ^a parte	Часть 1
2 ^a parte	Часть 2
Session	Сессия
Peak Meta Power (W/kg)	Пик Метаболической Мощности (Кв/кг)
Energy (KJ/kg)	Энергия (Кдж/кг)
Energy (Cal/kg)	Энергия (Ккал/кг)
Est Dist	Расчетное Расст
EDI	ПЭР

Кроме этого, информация может быть подробно описана по интенсивности зон, так как это происходило со скоростью передвижения. В таблице 4.5 можно увидеть время в секундах, время в % от общего числа, средняя метаболическая мощность в пределах этой категории интенсивности и количество усилий, сделанных в пределах этого диапазона интенсивности профессиональным футболистом (1-й дивизион Испании) во время матча соревнования.

Таблица 4.5. Подробная информация в различных зонах метаболической мощности во время профессионального футбольного матча, полученная с помощью программного обеспечения *Catapult Sprint*.

Metabolic Power	Band:	0-10 W/kg	10-20 W/kg	20-35 W/kg	35-55 W/kg	55-100 W/kg	
	Time	s	59.02,1	20.23,1	6.42,4	1.36,1	0.29,0
	% Time	%	66	23	7	2	1
	Avg. Power	W/kg	4,71	14,01	25,34	42,58	67,48
	Efforts	#	0	528	201	47	5

Metabolic Power	Метаболическая Мощность
W/kg	Кв/кг
Band:	Зона:
% Time	% Времени
Avg. Power	Средняя Мощность
Efforts	Усилия

Можно обнаружить что, по мере уменьшения активности, увеличивается категория интенсивности, делая 5 усилий, которые длились 29 секунд выше 55 Вт/кг. Метаболическая мощность помогает нам определить действия, которые находятся



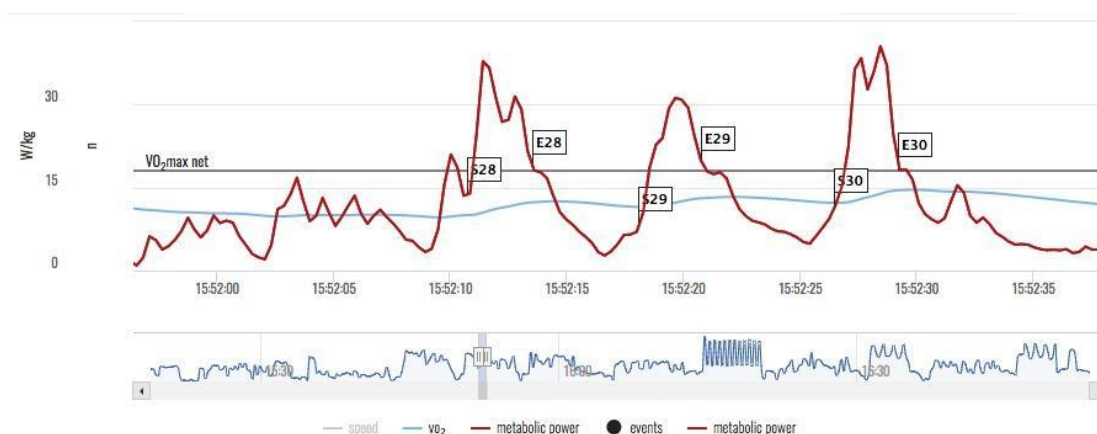
выше уровня интенсивности, соответствующего максимальному потреблению кислорода, таким образом, легко представляя действия, которые выполняются, получая в основном энергию из анаэробной системы. Поэтому, зная соответствующую метаболическую мощность с VO_{2max} спортсменов, легко определить действия, которые превышают это значение, так как системы позиционирования могут представлять мгновенную метаболическую мощность. Из этого анализа мы можем получить:

- Целую анаэробную энергию
- Количество событий с высокой метаболической мощностью
- Описание этих событий

Если мы будем учитывать, как получается значение метаболической энергии, мы не будем иметь никаких трудностей в понимании того, что событие высокой метаболической мощности, которое превышает уровни, связанные с максимальным потреблением кислорода и, следовательно, потребует дополнительного вклада анаэробной системы, получается через:

- Действие, где ускорение высокое, а скорость передвижения низкая
- Действие, где ускорение низкое, а скорость передвижения высокая
- Сочетание умеренного уровня ускорения и скорости.

Изображение 4.19. Средняя метаболическая мощность по отношению к уровню максимального потребления кислорода.

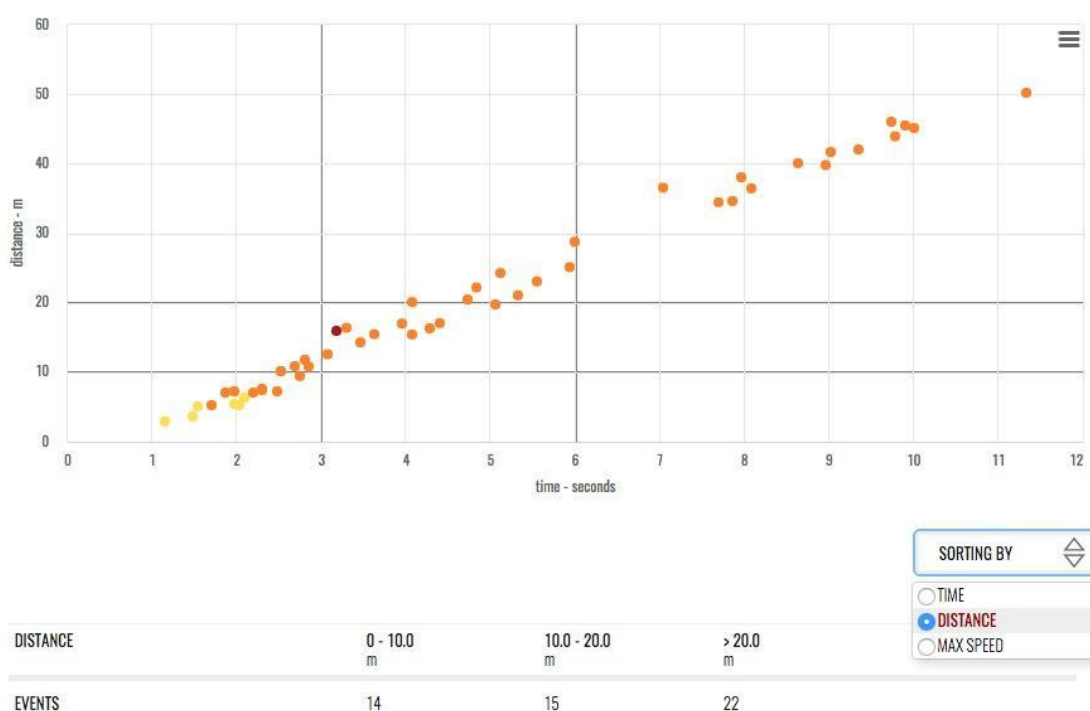


W/kg	Вт/кг
VO ₂ max net	VO ₂ макс нетто
Speed	Скорость
VO ₂	VO ₂
Metabolic power	Метаболическая Мощность
Events	События
Metabolic power	Метаболическая Мощность

Взято из <https://www.gpexe.com/monitoring-anaerobic-activity-performance/>, опубликованное Osgnach (2017).

В этом смысле представление событий высокой метаболической мощности, основанных на продолжительности, пройденном расстоянии или пиковой скорости, может улучшить понимание профиля игрока или требования, наложенные во время различных тренировочных задач. Конкретный пример, изображенный на рисунке 4.20, показывает количество событий высокой метаболической мощности, выполненных спортсменом на основе расстояния и времени. В данном конкретном примере видно, как наибольшее количество действий высокой метаболической мощности выполняются на расстоянии более 20 метров (22 события), все они требуют минимальной продолжительности 4 секунд.

Изображение 4.20. Описание усилий, выполненных с высокой интенсивностью метаболической мощности, с учетом их расстояния и продолжительности.



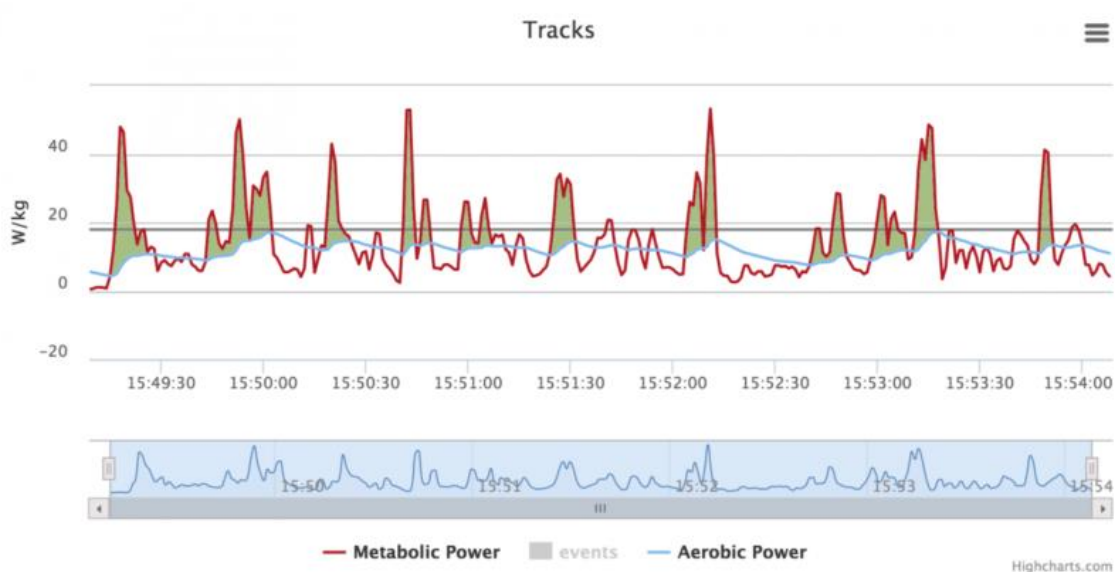
DISTANCE	РАССТОЯНИЕ
EVENTS	СОБЫТИЯ
Distance – m	Расстояние – м
Time – seconds	Время – секунды
SORTING BY	СОРТИРОВКА ПО
TIME	ВРЕМЕНИ
DISTANCE	РАССТОЯНИИ
MAX SPEED	МАКС СКОРОСТИ

Взято из <https://www.gpexe.com/monitoring-anaerobic-activity-performance/>.
Опубликовано Osgnach (2017).

Расстояние, пройденное с высокой метаболической мощностью (*High Metabolic Load Distance* или HMLD), является переменной, о которой сообщают различные исследования и она используется некоторыми командами в их повседневной практике. Это мера расстояния, поэтому она обычно выражается в метрах. Это переменная, которая интегрирует задачу, выполненную на высокой скорости и с высокоинтенсивным ускорением/замедлением, что может быть пригодным для обобщения высокоинтенсивной задачи, выполненной игроком. В этом смысле переменная *High Metabolic Load Distance* (HMLD) может быть интересной, так как она представляет пройденное расстояние (м) игроком, когда его метаболическая мощность (потребляет энергию на кг в секунду) превышает 25.5 Вт/кг. Это значение 25.5 Вт/кг соответствует тому, когда спортсмен бежит со скоростью $5.5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ по траве или когда спортсмен выполняет значительное ускорение или замедление, например, когда он бежал со скоростью $2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ и перешёл на $4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, таким образом производя ускорение $2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$.

Однако этот порог в 25,5 Вт/кг может быть изменен в зависимости от целей или предпочтений технического специалиста. На графике ниже мы видим время, потраченное спортсменом выше определенного установленного неподвижного порога метаболической мощности (в конкретном примере, показанном на рисунке 4.21, этот порог составляет 19 Вт/кг). Также можно обнаружить время, потраченное выше метаболической мощности, соответствующей с максимальным потреблением кислорода каждого спортсмена (голубая линия). Таким образом, не используется случайное значение для определения высокоинтенсивных действий, а учитывается способность спортсмена (максимальный уровень потребления кислорода). Это измерение позволяет оценить время, в котором спортсмен превышает это значение, приближаясь к расчету количества необходимой анаэробной энергии.

Изображение 4.21. Графическое представление метаболической мощности, где зеленым цветом указан вклад анаэробной системы, при превышении уровня максимального потребления кислорода.



W/kg	Кв/кг
Tracks	Полосы
Metabolic Power	Метаболическая Мощность
Events	События
Aerobic Power	Аэробная Мощность

Взято из <https://www.gpex.com/how-detect-high-intensity/>



4.3 Переменные типа/уровня 3

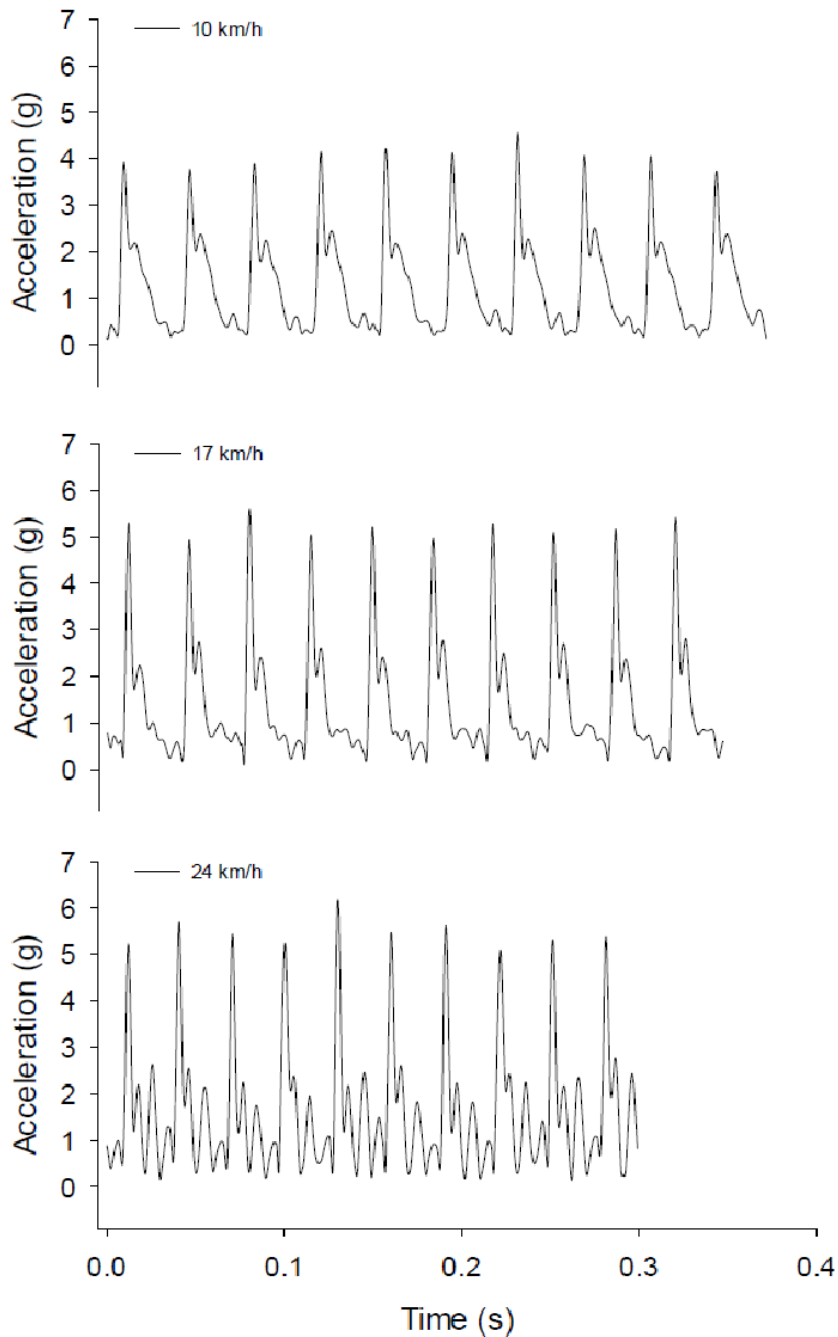
Вся информация, получена от инерционных датчиков/акселерометров. Эта информация недоступна, когда делается мониторинг игроков системами, которые делают полуавтоматическое отслеживание игрока через видео, такие как Amisco[®], Prozone[®] o Mediacoach[®]. Чтобы получить эту информацию, датчик должен быть расположен на теле игрока.

Примерами таких переменных являются 17 ударов выше интенсивности 6 G, нагрузка игрока (полученная с помощью акселерометрии) 456 умеренных единиц (у. е.), потеря равновесия 4% в паттерне шага (снижение импульса правой), среди других возможностей (Buchheit и Simpson, 2016).

Биомеханический компонент тренировочной нагрузки во многом зависит от двигательных и тормозных сил, выполняемых против земли. Механические напряжения на мягкие ткани (внутренняя нагрузка) исходят из этих внешних кинетических требований поглощения высоких ударных сил со средой и генерации больших сил, чтобы толкаться от земли. Прямые измерения этих внешних сил возможны с помощью силовых платформ, но они дорогие их трудно использовать за пределами лабораторных условий. Поэтому они не применяются в тренировочной среде коллективных видов спорта. Однако измерение ускорений на основе второго закона Ньютона (для определенной массы, ускорения являются пропорциональными внешним силам, действующих на тело) является проще и практичнее, так как они могут быть сделаны вне лаборатории. Наличие недорогих инерционных датчиков позволило интеграцию такой технологии в GPS-устройства (Vanrenterghem и др., 2017)

Изображение 22. Величина вектора, полученная от сигнала акселерометра в течение 10 последовательных шагов, измеримых на трех различных скоростях.





Time (s)	Время (с)
Acceleration (g)	Ускорение (g)
Km/h	Км/ч

Источник: взято из Buchheit и др. (2015).

Акселерометры обеспечивают непрерывный высокочастотный сигнал (обычно равный или более 100 Гц, 100 данных в секунду), поэтому суммирование этого сигнала обычно используется для представления величины ускорения, к которому подверглось тело (Vanrenterghem и др., 2017). Большинство устройств, используемых сегодня в количественной оценке тренировочной нагрузки, имеют трехосные акселерометры



(встроены в устройства GPS) и, следовательно, они получают ускорения, произведенные в трех плоскостях движения.

4.3.1. Суммарные измерения ускорения: "Нагрузка Игрока"

Некоторые из предлагаемых суммарных мер это "*Dynamic Stress Load*" (Динамическая Стрессовая нагрузка) (Gaudino и др., 2015), "*New Body Load*" (Новая Нагрузка на Тело) (Ehrmann, Duncan, Sindhusake, Franzsen, и Greene, 2016), или "*Force Load*" (Сила Нагрузки) (Colby, Dawson, Heasman, Rogalski, Gabbett, 2014), хотя наиболее широко используется мера *Player Load* (Нагрузка Игрока). Предпосылка этих суммарных мер говорит о том, что посредством кумуляции скорости ускорения, можно обеспечить оценочную биомеханическую меру внешней нагрузки (Vanrenterghem и др., 2017).

Полученный показатель суммирования из акселерометров, который в настоящее время включается в описание физических требований, это *нагрузка игрока*. Это надежный и чувствительный показатель к различным требованиям спортсменов (Boyd и др., 2011). Показатель *player load* или *нагрузка игрока* рассчитывается по следующей формуле, где "аса" является ускорением на передней или горизонтальной части оси, "аст" — это ускорение на поперечной или боковой оси, "асв" - это ускорение по вертикальной оси, "i" - текущее время, а "t" - время:

$$PL = \sqrt{((a_{cat=i+1} - a_{cat=1})^2 + (a_{ctt=i+1} - a_{ctt=1})^2 + (a_{cvt=i+1} - a_{cvt=1})^2) / 100}$$

Показатель *нагрузки игрока* использован для сравнения игр неполными составами с товарищескими матчами (Casamichana и др. 2012d) или различными форматами игр неполными составами (Castellano и др., 2013b). По сравнению с матчами, значение нагрузки игрока было выше во время игр неполными составами, как и в случае с другими физическими переменными нагрузки, такими как пройденное расстояние в минуту, соотношение работы:отдыха (Casamichana и др., 2012c) и ускорения (Hissey, 2014), где форматы игр неполными составами, в которых участвует меньше игроков, имеют более высокие значения (матчи 3:3 > 6:6 > 8:8 >), за исключением переменной максимальной достигнутой скорости, которая была выше во время матчей (Casamichana et al. 2012d), а также среднее расстояние спринтов (Hissey, 2014).

Что касается игр неполными составами, этот параметр использовался для сравнения режимов непрерывной и прерывистой работы (Casamichana и др., 2013b), изменения ориентации пространства и количества игроков (Castellano и др., 2013b) или размеров пространства в ситуациях 4:4 (Hodgson и др., 2014). Не были обнаружены существенные различия в зависимости от тренировочного режима или количества игроков, уменьшая «нагрузку игрока», когда игровое пространство было ориентировано на включение вратарей, по сравнению с тем, когда задача выполнялась с целью поддержки владения мячом, и поэтому, в неориентированном пространстве. Кроме этого, обнаружилось увеличение в ускорениях при использовании измерения среднего пространства, $75 < 150 > 250 \text{ m}^2$ /участвующий игрок, уменьшая расстояние и частоту ускорений в маленьких и больших пространствах.



Тем не менее, недавнее исследование (Gabbett и Wheeler, 2014) указывает на необходимость устранения вертикального компонента при расчете нагрузки, которой подвергаются игроки, когда желается рассмотреть сферу ускорения для расчета *нагрузки игрока*. Высокая корреляция нагрузки *игрока* с общим пройденным расстоянием стоит за этим новым предложением. Новый показатель только двухмерный или *player load2D* или нагрузка игрока2D (который включает в себя только двухосные ускорения, передние/задние и левые/правые) может лучше различать прерывистые действия и таким способом избежать перекрытие информации о нагрузке, выдержанной игроком. По этой причине это интересный показатель действий сессии или задачи «не бега», поскольку он исключает вертикальный компонент ускорений, который сильно зависит от бега.

$$\text{Plyr.Ld}(2D) = \sqrt{((fwd_{t=i+1} - fwd_{t=i})^2 + (side_{t=i+1} - side_{t=i})^2)}$$

Plyr.Ld (2D)	Нагр.Игр (2D)
Fwd	Вперёд
side	Вбок

Например (собственные данные), если сравнить общее пройденное расстояние игроками с нагрузкой игрока и нагрузкой игрока2D в задачи, в которой работаете над техникой (где преобладает аэробный компонент технического повторения действий без резких изменений скоростей), то корреляции будут высокими (0,74 и 0,78 с *нагрузкой игрока* и *нагрузкой игрока2D*, соответственно), а если это сравнить с играми неполными составами 4:4 на поле 30x30 м (где от игроков требуется прерывистая активность с непрерывными ускорениями, замедлением и изменением направления), корреляции, кажется, означают, что оба индикатора не измеряют то же самое (при значениях 0,74 и 0,56 для *нагрузки игрока* и *нагрузки игрока2D*, соответственно).

С другой стороны, *player load slow* или *медленная нагрузка игрока* – это другое приближение к той же проблеме. Она старается измерить действия, которые отличаются от бега, и для этого она игнорирует любую нагрузку игрока, в которой спортсмен движется более чем за 2 м.с⁻¹, учитывая только действия спортсмена на низких скоростях передвижения.

$$\text{Plyr.Ld}(slow)_{t=n} = \sum_{t=0}^{t=n} \sqrt{((fwd_{t=i+1} - fwd_{t=i})^2 + (side_{t=i+1} - side_{t=i})^2 + (up_{t=i+1} - up_{t=i})^2)}$$

for $t = 0, 0.01, 0.02, 0.03 \dots n$

but values are only accumulated for measurements where $vel(dpr) > 2m/s$

Plyr.Ld (slow)	Нагр.Игр (медленная)
Fwd	Вперёд
Side	Вбок
Up	Вверх
For	для
but values are only accumulated for measurements where $vel(dpr) > 2m/s$	но значения только аккумулируются для измерений, в которых скорость (dpr) > 2 м/с



Ниже приведена *нагрузка игрока* и некоторые измерения, которые были получены в результате первоначального анализа измерения *нагрузки игрока*, полученного профессиональным футболистом (1-й дивизион Испании) во время матча.

Таблица 4.6. Подробная информация о *нагрузке игрока* и мерах, полученных во время профессионального футбольного матча с помощью программного обеспечения *Catapult Sprint*.

P.L. Variants	Period:	Session
	3D	1205
	2D	667
	Slow	374
	1D - Fwd %	24
	1D - Side %	24
	1D - Up %	51
Session	Сессия	
Period:	Период:	
2D	2D	
Slow	Медленная	
1D – Fwd%	1D – Вперёд%	
1D – Side%	1D – Вбок%	
1D – Up%	1D – Вверх%	
P.L. Variants	Варианты Нагрузки Игрока	

4.3.2 Force Load или Силовая нагрузка

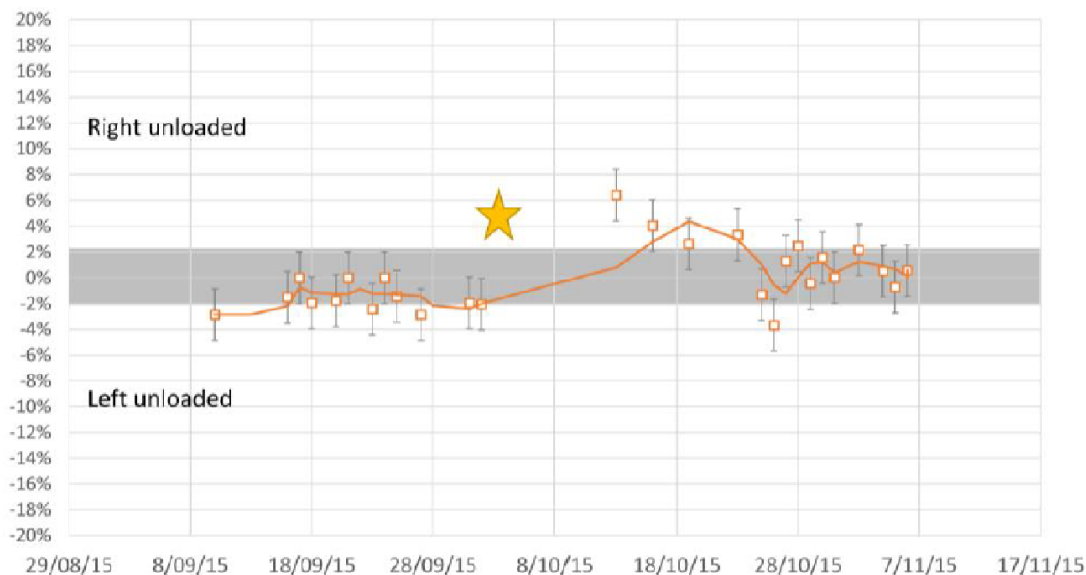
Что касается переменной "*Force load*", Buchheit и Simpson (2016) подробно написали, что она может представлять будущее в оценке спортсменов, так как результат в этом типе переменной не зависит от управления усилиями спортсменов, и не требуют, чтобы спортсмен делал максимальное усилие, как происходит с переменными типа I и типа II. Наиболее таким образом, каждая сессия, в которой будет делаться мониторинг, становится сессией оценки.

"Силовая нагрузка" относится к сумме оценки сил реакции земли в течение всех ударов стопы, которые оцениваются с помощью вектора, полученного в результате ускорения. По сравнению с Нагрузкой Игрока (Player Load) и Нагрузкой Тела (Body Load), основанной на полной активности акселерометра или общем пройденном расстоянии, силовая нагрузка (Force Load) отражает только последствия, связанные с передвижениями, и обеспечивает более точную оценку выполненной работы и выполненных импульсов, особенно когда сессия включает статические действия и немного передвижений (Buchheit и Simpson, 2016).

Силовую нагрузку также можно сравнить между правой и левой ногой, будучи в состоянии обнаружить потери равновесия в любой выполненной задаче, особенно при ускорении или бега на высокой скорости, что, вероятно, связано с использованием и потенциальными недостатками различных групп мышц. Эта информация, конечно, очень интересная в течение периодов возвращения к соревнованиям или *return to play* спортсмена и, кажется, что она позволяет обнаружить возможные дефициты мышечной силы спортсменов ещё здоровых спортсменов (Buchheit и Simpson, 2016).



Изображение 23. Пример симметрии в переменной "Force Load" во время процесса *return to play* после растяжения связок в правой лодыжке. Симметрия рассчитывается из сигнала "Force Load" всех соударений ноги на всех фазах ускорения каждой сессии. Звезда символизирует дату сессии.



Right unloaded	Правая без нагрузки
Left unloaded	Левая без нагрузки

Взято из Buchheit и Simpson (2016).

4.3.3 Характеристики шага

Время контакта и полета также можно оценить с помощью акселерометров. Также можно оценить вертикальную *ригидность* или *stiffness* (*stiffness* представляет собой меру ригидности мышечно-сухожильного аппарата), которая, как было показано, существенно снижается при мышечной усталости (Girard, Micallef, и Millet, 2011). Постоянный мониторинг характеристик шага (или, по крайней мере, вертикальный движений в результате соударения с землёй), предпочтительно с помощью стандартизированных задач, предлагает новую возможность соотношению, полученному через связь между скоростью движения и Силовой Нагрузкой (V/FL) и обеспечивает новую перспективу для мониторинга нервно-мышечного состояния спортсмена. Кроме того, эта информация не требует сигнала GPS, так как это информация, полученная с помощью акселерометров и ее можно использовать в задачах и в видах спорта *indoor*.

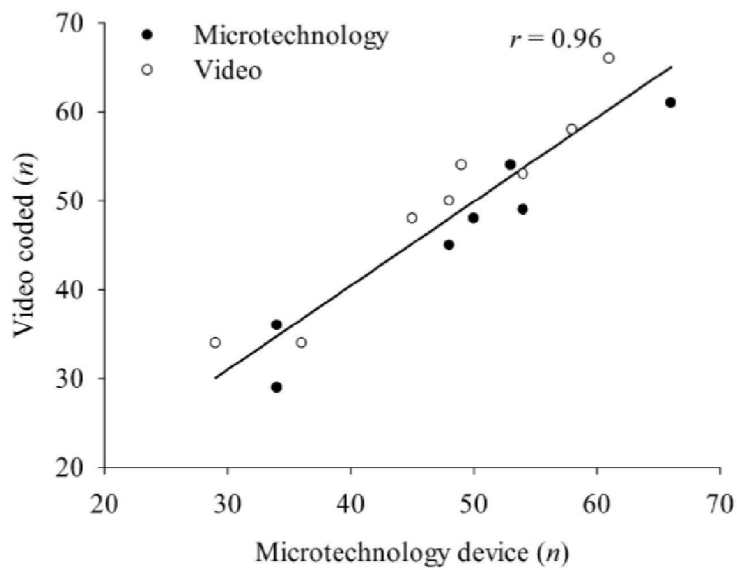
4.3.4 Столкновения

Интеграция различных датчиков внутри одного устройства позволяет подходить к различным спортивным действиям. В данном конкретном случае (Hulin, Gabbett, Johnston, и Jenkins, 2017), столкновения были выявлены с помощью информации, полученной из акселерометров и гироскопов. Столкновение было выявлено, когда произошло увеличение нагрузки игрока на >2 у. е. и когда произошло изменение ориентации устройства (что измеряется с помощью гироскопа). Полученные значения



сильно коррелируют со столкновениями, записанными с помощью видео ($r = 0.96$), идентифицируя с помощью микротехнологий 96.7% из событий, полученных в результате анализа видео во время матчей по регби. Также, уменьшается погрешность, повышается точность и чувствительность при исключении малоинтенсивных и коротких соударений.

Изображение 4.24. Взаимосвязь между числом столкновений, обнаруженных с помощью микротехнологий (GPS со всеми другими датчиками) и с помощью видео в профессиональных матчах по регби.



Microtechnology device (m)	Микро технологическое устройство (м)
Video coded (n)	Закодированное видео (н)
Microtechnology	Микротехнология
Video	Видео

Взято из Hulin и др. (2017).



Ссылки

Aughey, R. (2010). Australian football player work rate: evidence of fatigue and pacing? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 394-405.

Aughey, R., & Fallon, C. (2010). Real-time versus post-game GPS data in team sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(3), 348-349.

Akenhead, R. (2014). An examination of the training loads within elite professional football. Doctoral Thesis. Newcastle: Northumbria University.

Akenhead R, French D, Thompson KG, and Hayes PR. The acceleration dependent validity and reliability of 10 Hz GPS. *J Sci Med Sport*. 2014;17:562-566.

Boullosa, D. A., Abreu, L., Nakamura, F. Y., Muñoz, V. E., Dominguez, E., & Leicht, A. S. (2013). Cardiac autonomic adaptations in elite Spanish soccer players during preseason. *International journal of sports physiology and performance*, 8(4), 400-409.

Boyd, L. J., Ball, K., & Aughey, R. J. (2011). The reliability of MinimaxX accelerometers for measuring physical activity in Australian football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(3), 311-321.

Buchheit M, Al Haddad H, Simpson BM, Palazzi D, Bourdon PC, Di Salvo V, and Mendez-Villanueva A. Monitoring accelerations with GPS in football: time to slow down? *Int J Sports Physiol Perform*. 2014;9: 442-445

Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Simpson, B., & Bourdon, P. (2010). Repeated-sprint sequences during youth soccer matches. *International journal of sports medicine*, 31(10), 709-716.

Buchheit, M., Allen, A., Poon, T. K., Modonutti, M., Gregson, W., & Di Salvo, V. (2014). Integrating different tracking systems in football: multiple camera semi-automatic system, local position measurement and GPS technologies. *Journal of Sports Sciences*, 32, 1844-1857.

Buchheit, M., Gray, A., & Morin, J.B. (2015). Assessing Stride Variables and Vertical Stiffness with GPS-Embedded Accelerometers: Preliminary Insights for the Monitoring of Neuromuscular Fatigue on the Field. *J Sports Sci Med*. 2015 Nov 24;14(4):698-701. eCollection 2015 Dec.

Buchheit, M., & Simpson, B.M. (2017). Player-Tracking Technology: Half-Full or Half-Empty Glass? *Int J Sports Physiol Perform*. 2017 Apr;12(Suppl 2): S235-S241. doi: 10.1123/ijsp.2016-0499. Epub 2016 Dec 14.

Buchheit, M., Simpson, B., & Mendez-Villanueva, A. (2013). Repeated high-speed activities during youth soccer games in relation to changes in maximal sprinting and aerobic speeds. *International journal of sports medicine*, 34(01), 40-48.



Carling, C., Bradley, P., McCall, A., & Dupont, G. (2016). Match-to-match variability in high-speed running activity in a professional soccer team. *Journal of sports sciences*, 34(24), 2215-2223.

Casamichana, D. (2011). La tecnología GPS aplicada a la evaluación del entrenamiento y la competición en fútbol. Tesis Doctoral: Universidad del País Vasco.

Casamichana, D., Castellano, J., Calleja-González, J., San Román, J., & Castagna, C. (2012b). Relationship between indicators of training load in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(2), 369-374.

Casamichana, D., Castellano, J., & Castagna, C. (2012c). Comparing the physical demands of friendly matches and small-sided games in semiprofessional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(3), 837-843.

Castellano, J., & Casamichana, D., (2013a). Differences in the number of accelerations between small-Sided games and friendly matches in soccer. *Journal of sports science and medicine*, 12(1), 209-210.

Castellano, J., Casamichana, D., y Dellal, A. (2013b). Influence of game format and number of players on heart rate responses and physical demands in small-sided soccer games. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(5), 1295-303.

Colby MJ, Dawson B, Heasman J, Rogalski B, Gabbett TJ. Accelerometer and GPS-derived running loads and injury risk in elite Australian footballers. *J Strength Cond Res.*2014;28(8):2244–52.

Cummins, C., Orr, R., O'Connor, H., & West, C. (2013). Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review. *Sports Medicine*, 43(10), 1025-1042.

Cunniffe, B., Proctor, W., Baker, J. & Davis, B. (2009). An evaluation of the physiological demands of elite rugby union using global positioning system tracking software. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4), 1195-1203.

Delaney, J.A., Cummins, C.J., Thornton, H.R. & Duthie, G.M. (2017). Importance, reliability and usefulness of acceleration measures in team sports. *J Strength Cond Res.* 2017 Feb 8. doi: 10.1519/JSC.0000000000001849. [Epub ahead of print]

Di Prampero, P.E., Fusi, S., Sepulcri, L., Morin, J.B., Belli, A., Antonutto, G . (2005). Sprint running: a new energetic approach. *The Journal of Experimental Biology*, 208, 2809 – 2816.

Di Salvo, W., Gregson, W., Atkinson, G., Tordoff, P., & Drust, B. (2009). Analysis of high intensity activity in premier league soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 30(3), 205-212.



Dwyer, D. B., & Gabbett, T. J. (2012). Global positioning system data analysis: Velocity ranges and a new definition of sprinting for field sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(3), 818-824.

Ehrmann FE, Duncan CS, Sindhusake D, Franzsen WN, Greene DA. GPS and injury prevention in professional soccer. *J Strength Cond Res*. 2016;30(2):360–7.

Farrow, D., Pyne, D., y Gabbett, T. (2008). Skill and physiological demands of open and closed training drills in Australian football. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 3(4), 489-499.

Gabbett, T. (2015). Use of relative speed zones increases the high-speed running performed in team sport match play. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(12), 3353-3359.

Gabbett, T. J., & Wheeler, A. J. (2014). Predictors of Repeated High-Intensity Effort Ability in Rugby League Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.2014-0127>.

Gaudino, P., Iaia, F. M., Alberti, G., Strudwick, A.J., Atkinson, G., & Gregson, W. (2013). Monitoring training in elite soccer players: systematic bias between running speed and metabolic power data. *International Journal of Sports Medicine*, 134, 963 – 968.

Gaudino, P., Iaia, F.M., Strudwick, A.J., Hawkins, R.D., Alberti, G., Atkinson, G., & Gregson, W. (2015). Factors influencing perception of effort (session rating of perceived exertion) during elite soccer training. *Int J Sports Physiol Perform*. 2015 Oct;10(7):860-4. doi: 10.1123/ijsp.2014-0518. Epub 2015 Feb 11.

Girard O, Micallef JP, and Millet GP. Changes in spring-mass model characteristics during repeated running sprints. *Eur J Appl Physiol*. 2011;111: 125-134.

Hisey, S. (2014). Comparison of the physical, physiological and perceptual demands of small-sided games and match play in professional football players. Doctoral Thesis: Edith Cowan University.

Hodgson, C., Akenhead, R., & Thomas, K. (2014). Time-motion analysis of acceleration demands of 4v4 small-sided soccer games played on different pitch sizes. *Human Movement Science*, 33, 25-32.

Hulin, B.T., Gabbett, T.J., Johnston, R.D., & Jenkins, D.G. (2017). Wearable microtechnology can accurately identify collision events during professional rugby league match-play. *J Sci Med Sport*. 2017 Jul;20(7):638-642. doi: 10.1016/j.jsams.2016.11.006. Epub 2017 Jan 23.

Jastrzebski, Z. y Radziminski L. (2015). Individual vs General Time-Motion Analysis and Physiological Response in 4 vs 4 and 5 vs 5 Small-Sided Soccer Games. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15, 397-410.



Jennings, D., Cormack, S., Coutts, A. J., Boyd, L. J., & Aughey, R. J. (2010). Variability of GPS units for measuring distance in team sport movements. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(4), 565-569.

Lovell, R. & Abt, G. (2013). Individualization of time-motion analysis: a case-cohort example. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 8, 456-458.

Malone, S., Roe, M., Doran, D. A., Gabbett, T. J., & Collins, K. (2017). High chronic training loads and exposure to bouts of maximal velocity running reduce injury risk in elite Gaelic football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(3), 250-254.

Osgnach, C., Poser, S., Bernardini, R., Rinaldo, R., & di Prampero, P. E. (2010). Energy cost and metabolic power in elite soccer: a new match analysis approach. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42, 170 – 178.

Rampinini, E., Coutts, A., Castagna, C., Sassi, R., & Impellizzeri, F. M. (2007). Variation in top level soccer match performance. *International Journal of Sports Medicine*, 28(12), 1018-1024.

Sonderegger K, Tschopp M, Taube W (2016) The Challenge of Evaluating the Intensity of Short Actions in Soccer: A New Methodological Approach Using Percentage Acceleration. *PLoS ONE* 11(11): e0166534. doi:10.1371/journal.pone.0166534

Spencer, M., Lawrence, S., Rechichi, C., Bishop, D., Dawson, B., & Goodman, C. (2004). Time-motion analysis of elite field hockey, with special reference to repeated sprint activity. *Journal of Sports Sciences*, 22(9), 843-850.

Sweeting, A. J., Cormack, S. J., Morgan, S., & Aughey, R. J. (2017). When Is a Sprint a Sprint? A Review of the Analysis of Team-Sport Athlete Activity Profile. *Frontiers in Physiology*, 8(432). doi:10.3389/fphys.2017.00432

Varley, M. C., Aughey, R. J., & Pedrana, A. (2011). Accelerations in football: Toward a better understanding of high intensity activity. *En Book of abstract 7th World Congress on Science & Football & 9th Congress of Japanese Society of Science & Football* (pp. 115). Nagoya, Japan.

Varley, M.C., Jaspers, A., Helsen, W.F., & Malone, J.J.(2017). Methodological Considerations When Quantifying High-Intensity Efforts in Team Sport Using Global Positioning System Technology. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017 Sep;12(8):1059-1068. doi: 10.1123/ijsp.2016-0534. Epub 2017 Jan 4.

Vanrenterghem, J., Nedergaard, N.J., Robinson, M.A., & Drust, B. (2017). Training Load Monitoring in Team Sports: A Novel Framework Separating Physiological and Biomechanical Load-Adaptation Pathways. *Sports Med.* 2017 Mar 10. doi: 10.1007/s40279-017-0714-2. [Epub ahead of print]

Wisbey, B., Montgomery, P. G., Pyne, D. B., & Ben Rattray, B. (2010). Quantifying movement demands of AFL football using GPS tracking. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(5), 531–536.

