

Модуль 4. Применение инерционных систем в различных тестах в командных видах спорта

В этом модуле будут рассматриваться различные тесты, полезные для мониторинга тренировочного процесса в течение одного или нескольких сезонов. Они позволяют узнать и оценить состояние различных систем игрока и, в также, обнаружить их эволюцию и изменения в производительности. Это определит, какие действия могут оптимизировать производительность с условной точки зрения.

Процесс оценки, а также его последующая интерпретация должны включать тренерский штаб, медицинский штаб и, конечно же, тренера по физической подготовке.

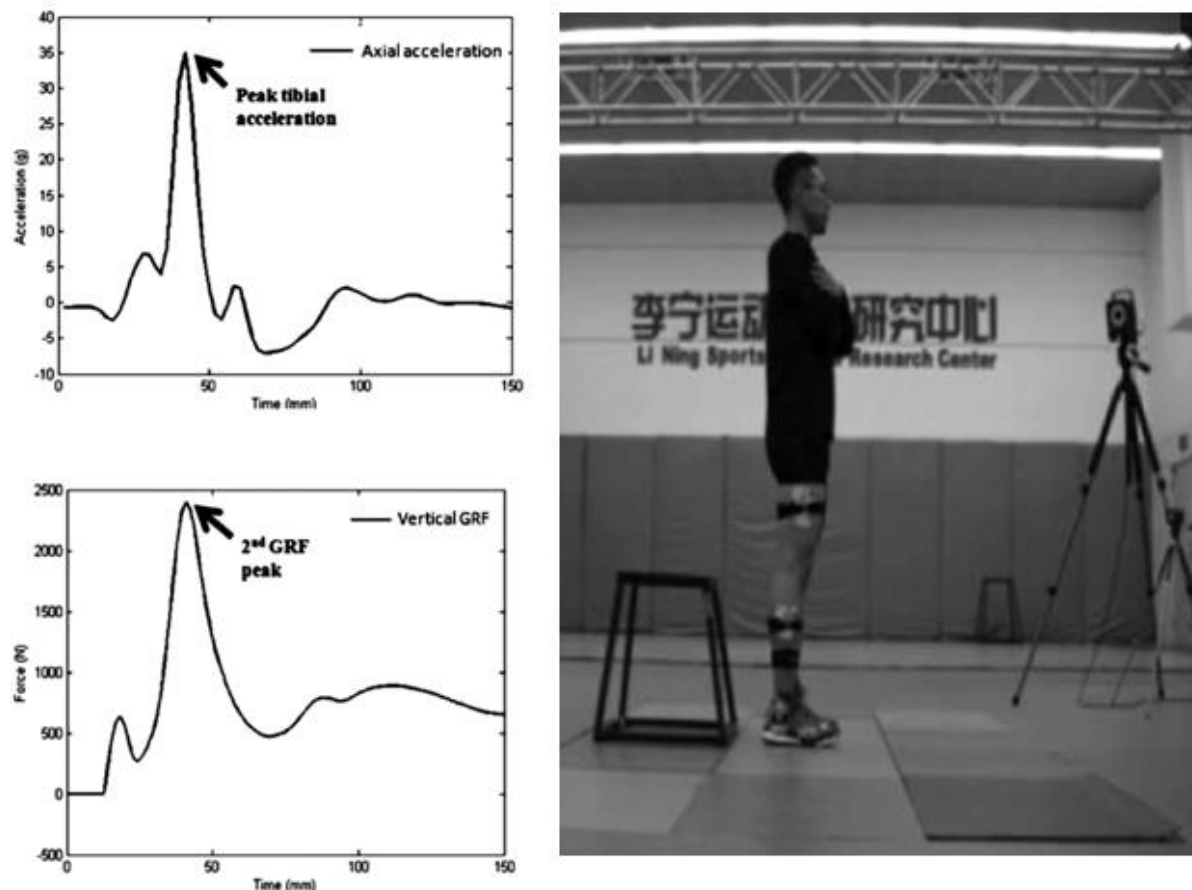
Баскетболист может быть оценен на поле, во время спортивной практики и в более конкретных обстоятельствах для этой цели. Некоторые аспекты, которые могут быть рассмотрены косвенно или оцениваются этой технологией являются: проприоцепция, усталость, стабильность кора, сила и мощность, диапазон движения, нервно-мышечный контроль и уровень физической подготовки.

Чтобы полагаться на данных, предоставленных нам этими системами измерения, важно определить их достоверность. Таким образом, на силовых платформах измеряются фаза импульса и фаза приземления игроков, когда они выполняют вертикальный прыжок. Силовая платформа, в данном случае, является золотым стандартом. Таким образом устанавливается действительность ИДУ для таких измерений.

На изображении 1 показано, как Винг Кай Лам и его коллеги (2015 г.) сравнили силу реакции земли, произведенную в прыжке с падением, используя силовую платформу, с оценкой пика ускорения большой берцовой кости при приземлении. Очень похожее поведение наблюдается на обоих графиках.



Изображение 1: Сравнение вертикального прыжка, выполненного на силовой платформе и с инерционной системой



Источник: Lam и др., 2015 г., стр. 22.

Axial aceleration	Осевое ускорение
Peak tibial acceleration	Пик ускорения большеберцовой кости
Acceleartion (g)	Ускорение (g)
Time (mm)	Время (мм)
2 GRF peak	2ой пик вертикальной силы реакции пола
Vertical GRf	Вертикальная сила реакции пола
Force (M)	Сила (N)

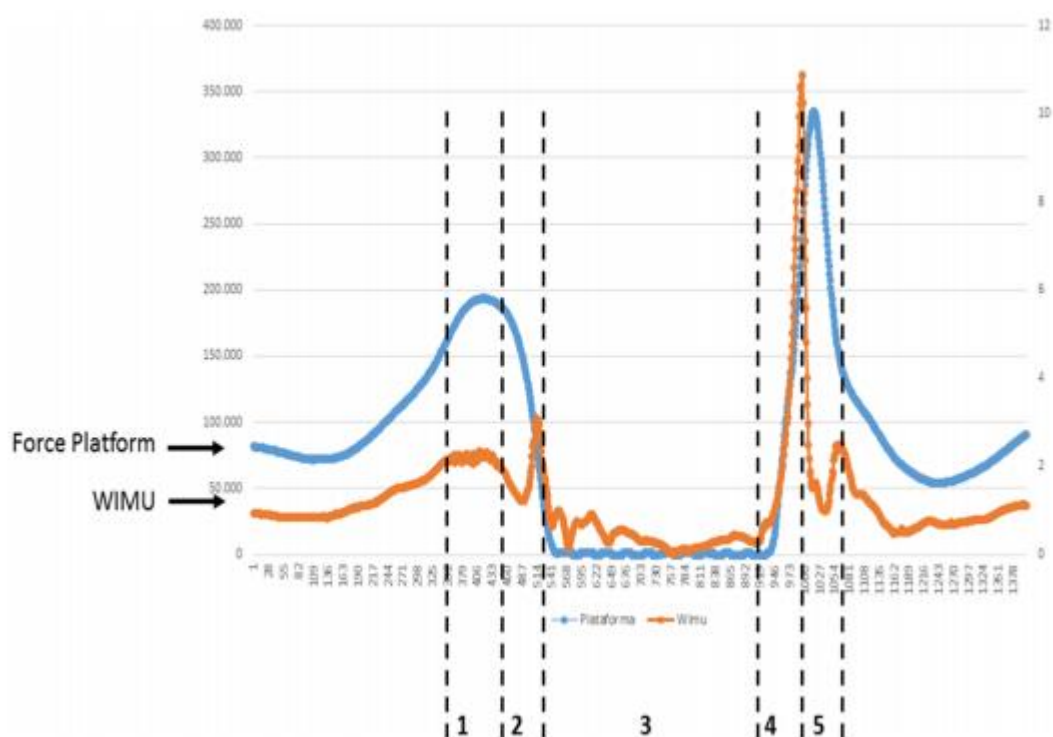
Таким образом, установлено, что эта инерциальная система подходит для собственных ударов при приземлении прыжка.

После проверки этой информации следующим шагом является обеспечение действительности и воспроизводимости системы, используемой в ФК Барселона. Эти инерционные устройства, называемые Wireless Inertial Movement Unit (WIMU), принадлежащие к Real Track Systems, были проверены на действительность и показали воспроизводимость в вертикальном прыжке. На изображении 2 показано поведение,



очень похожее на золотой стандарт, оценено с помощью силовой платформы, и на полученный результат с устройством WIMU.

Изображение 2: Сравнение записи одного прыжка, выполненного на силовой платформе, а другого выполнено с инерционным устройством (WIMU)

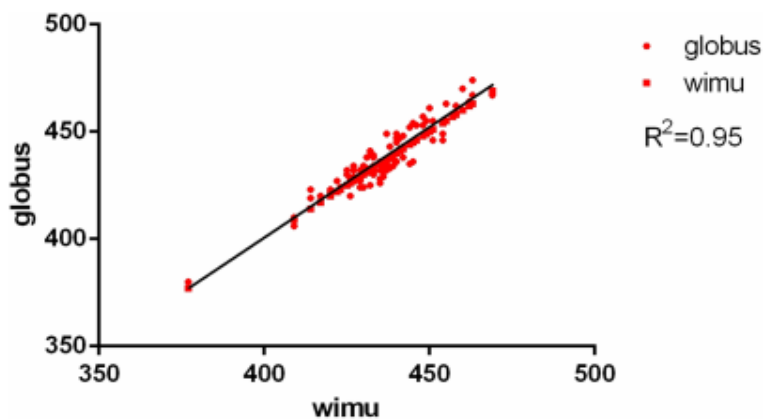


Источник: Ортега, Гарсия-Рубио и Ибаньес, 2018 г., стр. 4.

Force platform	Силовая платформа
WIMU	WIMU

Кривые, которые производятся очень похожи, что показывает положительное влияние на проверку устройства. Корреляция между данными, показанными обеими системами, почти идеальна и установлена на 0,95.

Изображение 3: Диаграмма корреляции между устройствами WIMU и силовой платформой в оценки вертикального прыжка с противоположным движением (CMJ, Counter Movement Jump на английском)

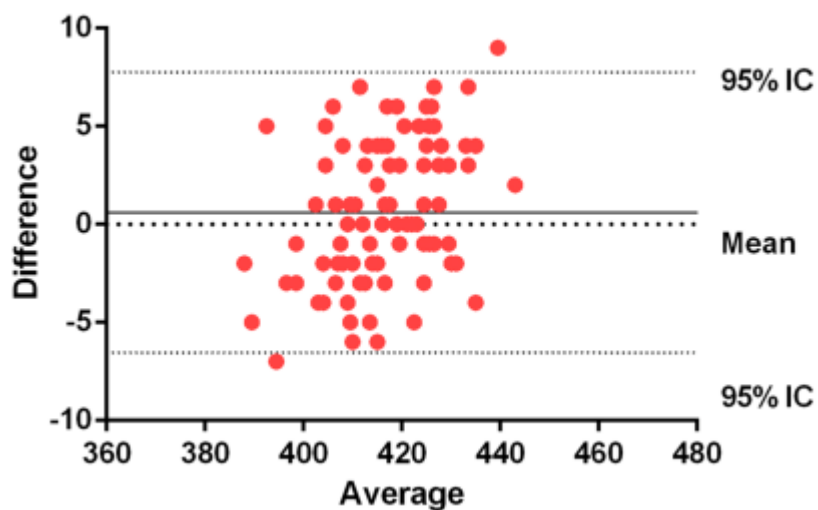


Источник: Ortega и др., 2018 г., стр. 6.

globus	globus
Wimu	Wimu

На изображении 4 видно статистический анализ Блэнд-Альтмана, который определяет воспроизводимость теста, в данном случае, вертикального прыжка с противоположным движением (CMJ).

Изображение 4: Рисунок воспроизводимости теста прыжка CMJ с устройством WIMU



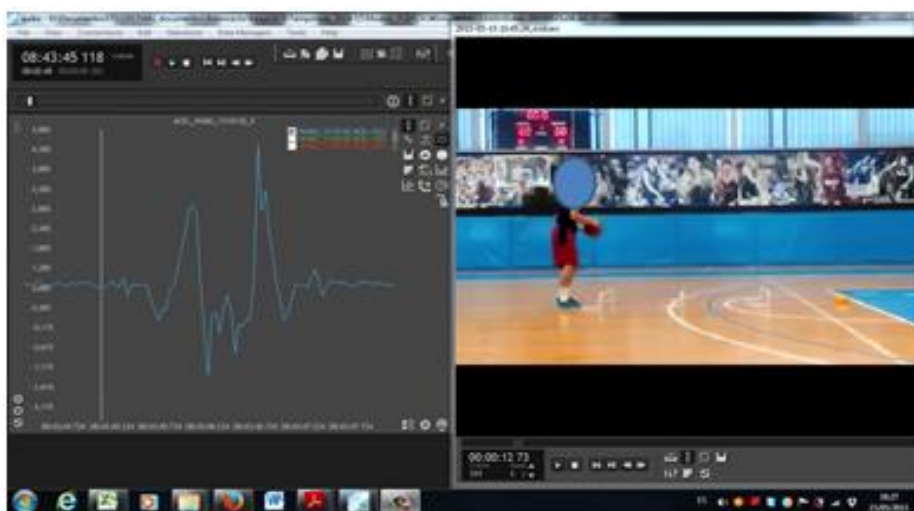
Источник: Ortega et al., 2018, стр. 7.

Difference	Разница
95% IC	95% ДИ
MEan	Средняя
Average	Среднее число

Таким образом, проверяется, что система WIMU является действительной и воспроизводимой для измерения прыжка.

На изображении 5 показано практическое применение теста WIMU на игровом поле для измерения броска в корзину. Изображение показывает динамику прыжка, который игрок совершает при выполнении броска в корзину. Тест включает в себя условие для выполнения задачи: размещаются заборы для того, чтобы заставить игрока превысить определенную высоту.

Изображение 5: Динамика прыжка на с ускорением на прямом эфире

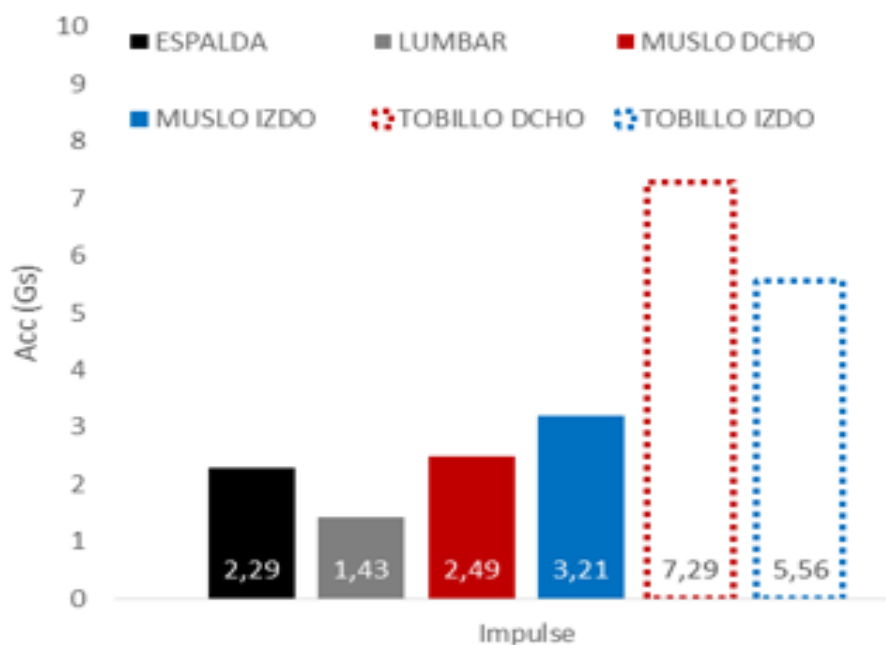


Источник: Собственная разработка с устройствами WIMU, Realtrack Systems S.L.

Таким образом, это позволяет обратную связь в реальном времени для выполненных прыжков. Это особенно полезно при приземлении, для оптимизации производительности игроков в таких моментах, так как они обычно требуют высокоинтенсивные удары, связанные с травмами.

Затем будет проанализирован прыжок над забором, записанный несколькими устройствами WIMU, распределенными в различных анатомических областях тела (голеностоп, колено, нижняя часть спины и верхняя часть спины). Таким образом выполняется прыжок и анализируется соударение и эффект на различные части тела, в которых находились устройства (изображение 6).

Изображение 7: Ускорение измеримое во время прыжка в различных анатомических областях

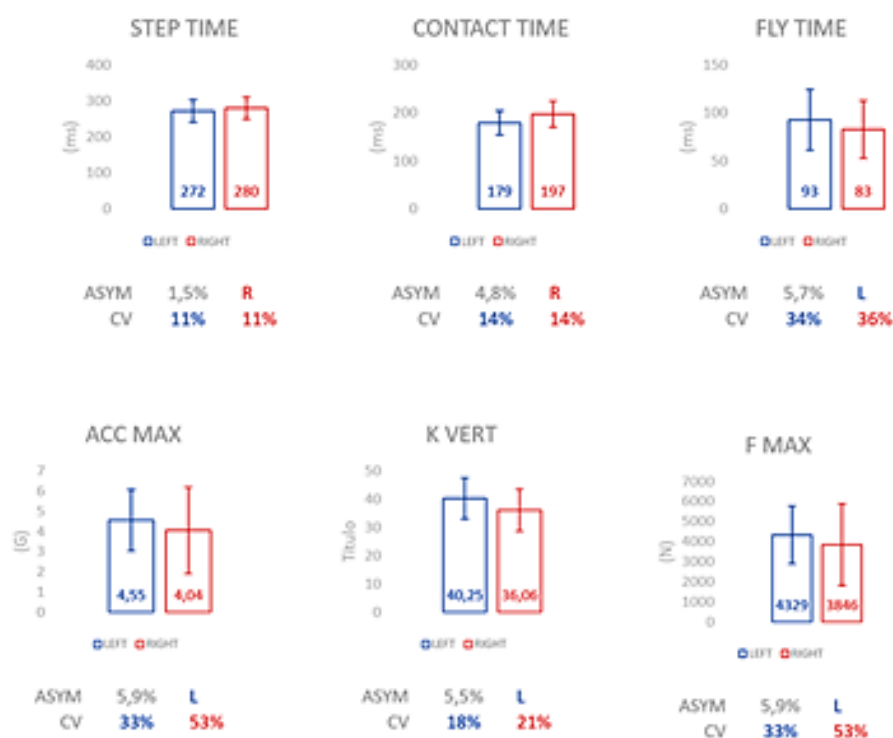


Источник: Собственная разработка (вместе с Xavi Reche) с устройствами WIMU, Realtrack Systems S.L.

Espalda	Спина
Lumbar	Поясница
Muslo Dcho	Правое бедро
Muslo izdo	Левое бедро
Tobillo dcho	Правая щиколотка
Tobillo izdo	Левая щиколотка
Acc (Gs)	Ускорение (G)
Impulse	Импульс

С другой стороны, эти системы позволяют анализировать соударение во время гонки. На изображении 8 показан отчет, генерируемый системой WIMU, в котором анализируется влияние линейной гонки во время спринта.

Изображение 8: Результаты, полученные при измерении линейного спринта



Источник: Собственная разработка (вместе с Xavi Reche) с устройствами WIMU, Realtrack Systems S.L.

Step time	Время шага
Contact time	Время контакта
Fly time	Время полёта
Acc Max	МАКС УСК
K vert	ВЕРТ РИГИД
F max	МАКС СИЛА
Ms	(мс)
Asym	ASYM
Cv	КВ
L	Л
(G)	(G)
Titulo	Название
(N)	(N)
Right	Правая
Left	Левая

Проанализированы переменные: время каждого шага, время контакта и полета, ускорение и максимальная сила. Кроме того, отмечается вертикальная ригидность, которая позволяет отличить производительность обеих конечностей. Это устанавливает процентное значение симметрии и коэффициент изменения между ними.

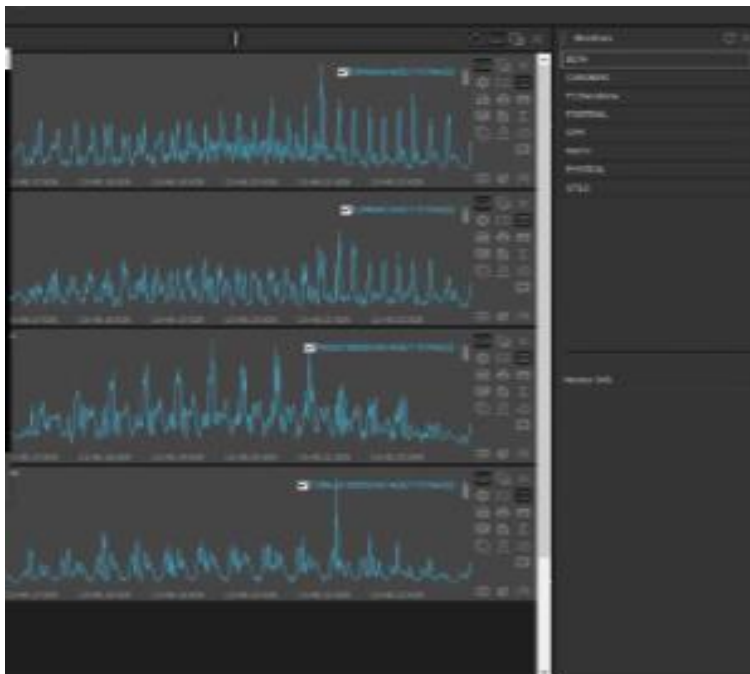


Еще один тест, который выполняется, является тест «челночного бега». Он используется в течение 8 минут только для того, чтобы узнать уровень субмаксимальной аэробной выносливости игрока. Устройства WIMU позволяют выполнять, в дополнение к измерению сердечного ритма во время теста, тест шагов для измерения поведения обеих конечностей, как мы показали в примере спринта.

С другой стороны, вы также можете проанализировать реакцию вертикальной ригидности (stiffness) игрока на определенные стимулы тренировки или соревнования, и установить, есть ли различия, вызванные усталостью. Наши доказательства (неизданные данные) указывают на то, что поведение ригидности может способствовать обнаружению усталости.

Изображение 9 отражает ускорение гонки на максимальной скорости (датчики были расположены в тех же анатомических зонах, что и на предыдущем изображении).

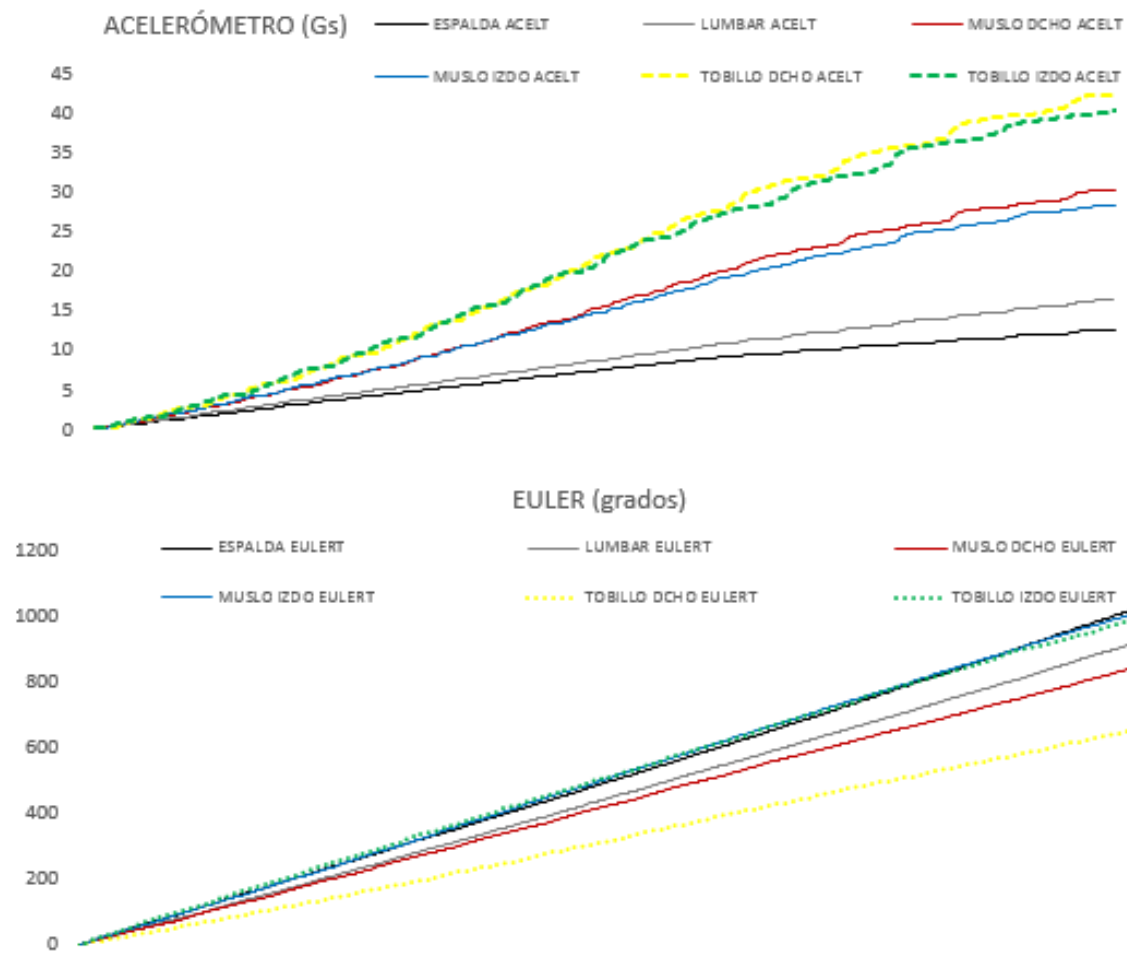
Изображение 9: Поведение ускорения в различных анатомических зонах во время максимальной гонки



Источник: Собственная разработка (вместе с Xavi Reche) с устройствами WIMU, Realtrack Systems S.L.

Анализ этих данных (изображение 10), в котором сравнивается ускорение, измеренное в G, показывает минимальные различия между теми же анатомическими областями двух конечностей. Однако эти различия заметны и поэтому являются актуальными.

Изображение 10: Сравнение через ускорение и Эйлер (степени) поведения между различными анатомическими зонами во время максимальной гонки



Источник: Собственная разработка (вместе с Xavi Reche) с устройствами WIMU, Realtrack Systems S.L.

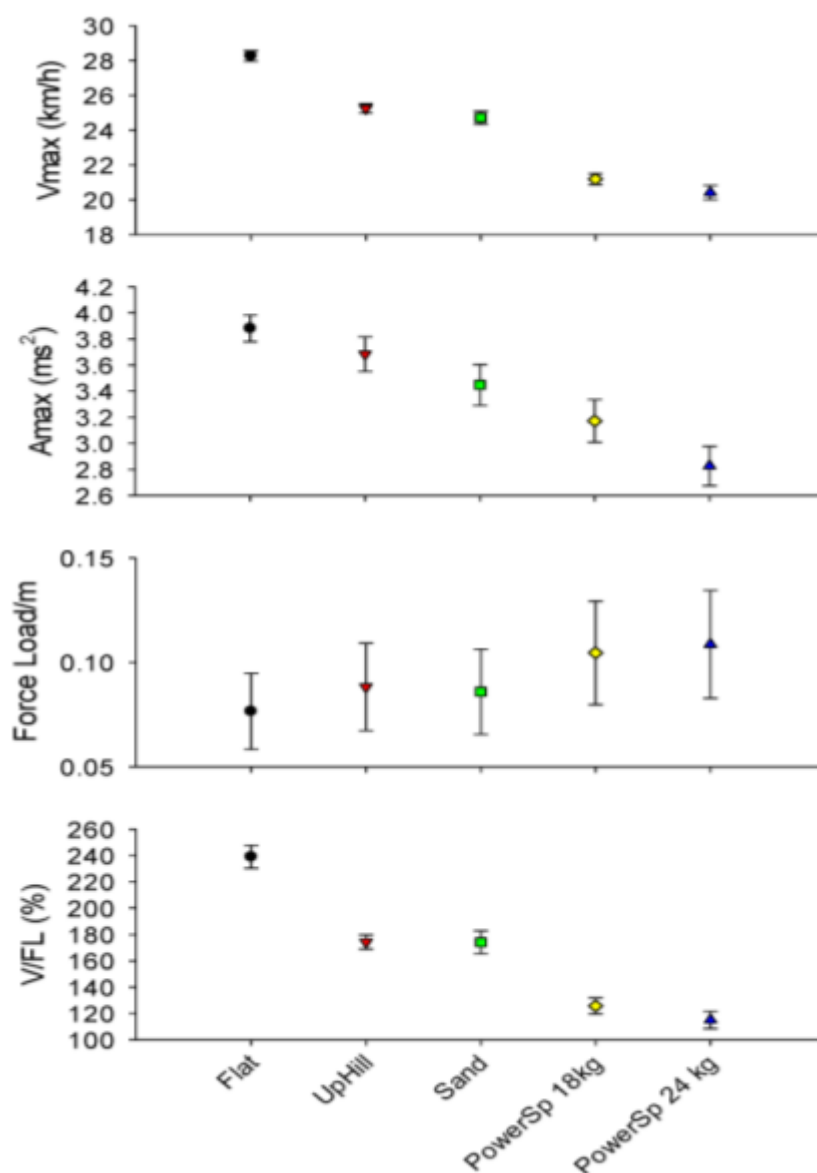
Acelerometro (gs)	АКСЕЛЕРОМЕТР (G)
Espalda acelt	Спина Акселерометр
Lumbar acelt	Поясница акселерометр
Muslo dcho acelt	Правое бедро акселерометр
Muzlo izdo acelt	Левое бедро акселерометр
Tobillo dcho acelt	Правая щиколотка акселерометр
Tobillo izdo acelt	Левая щиколотка акселерометр
Euler (grados)	ЭЙЛЕР (степени)
Espalda eulert	Спина Эйлер
Lumbar eulert	Поясница Эйлер
Muslo dcho eulert	Правое бедро Эйлер
Muslo izdo eulert	Левое бедро Эйлер
Tobillo dcho eulert	Правая щиколотка Эйлер
Tobillo izdo eulert	Левая щиколотка Эйлер

Разница в степенях между двумя лодыжками, скорее всего, соответствует дефициту дорсифлекции одной из них. Гомес-Кармона и сотрудники в 2019 году проверили на действительность использование этих устройств для измерений такого рода. Опять же, предлагаемые тесты поддерживаются научной литературой.

Со своей стороны, Бухейт и Симпсон (2017) провели анализ спринта на 15 метров в разных условиях: плоская поверхность, поверхность с наклоном 4%, песочная поверхность и машина с сопротивлением 18 и 24 кг, которая позволила имитировать гонку. Они искали переменную, которая имела наибольшее значение на каждой из поверхностей, и, таким образом, например, как максимальная скорость, так и максимальное ускорение были достигнуты в спринте 15 метров на плоской поверхности. Однако в последнем из предложенных условий (машина сопротивления с двумя разными нагрузками) появилось более высокое силовое производство.



Изображение 11: Анализ гонки на 15 метров в разных условиях

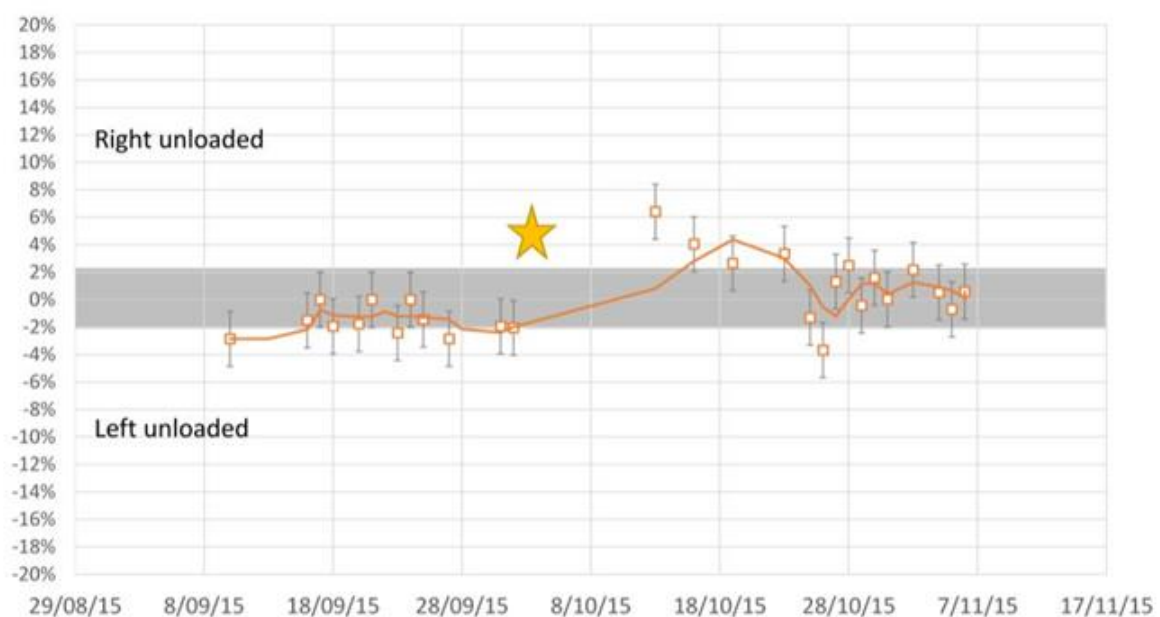


Источник: Бухейт и Симпсон, 2017 г., стр. 39.

Vmax (Km/h)	Макс скорость (км/ч)
Amax (ms ²)	Макс ускорение (мс ²)
Force load/m	Сила Нагрузки/м
V/FL (%)	Скорость/Сила Нагрузки(%)
Flat	Плоская
UpHill	С наклоном
Sand	Песок
PowerSp 18kg	Машина сопротивлением. 18кг
PowerSp 24 kg	Машина сопротивлением. 24кг

Другим практическим применением этих устройств является анализ задачи или тренировки игрока, который получил травму лодыжки. Таким образом, сравниваются данные до травмы с текущими данными в аналогичных условиях, которые получены в процессе реабилитации. Изображение 12 показывает, как проанализированный игрок выдерживал похожую нагрузку на обеих лодыжках до получения травмы. Однако, сразу после травмы правой лодыжки, наблюдается что производится меньше силы в ней (снижение терпимой нагрузки) по сравнению с не травмированной лодыжкой. Впоследствии эволюция процесса возврата к игре позволяет стабилизировать производство силы (терпимой нагрузки) в обеих конечностях.

Изображение 12: Различия в терпимой нагрузке на нижних конечностях у игрока с травмированным голеностопным суставом

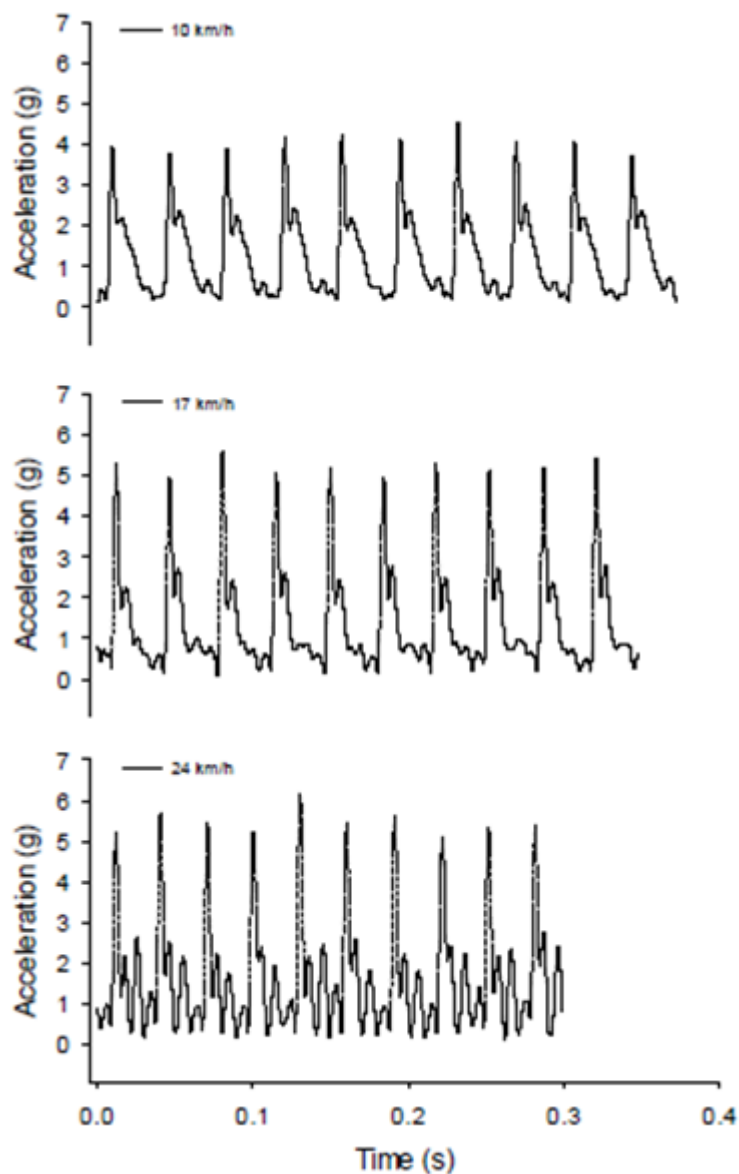


Источник: Бухейт и Симпсон, 2017 г., стр. 40.

Righ unloaded	Правая без нагрузки
Left unloaded	Левая без нагрузки

Другая интересная публикация того же автора (Buchheit, Gray и Morín, 2015 г.) анализирует десять шагов гондки при трех различных интенсивностях скорости, используя инерционные системы.

Изображение 13: Анализ ускорения в G в гонке с разными интенсивностями



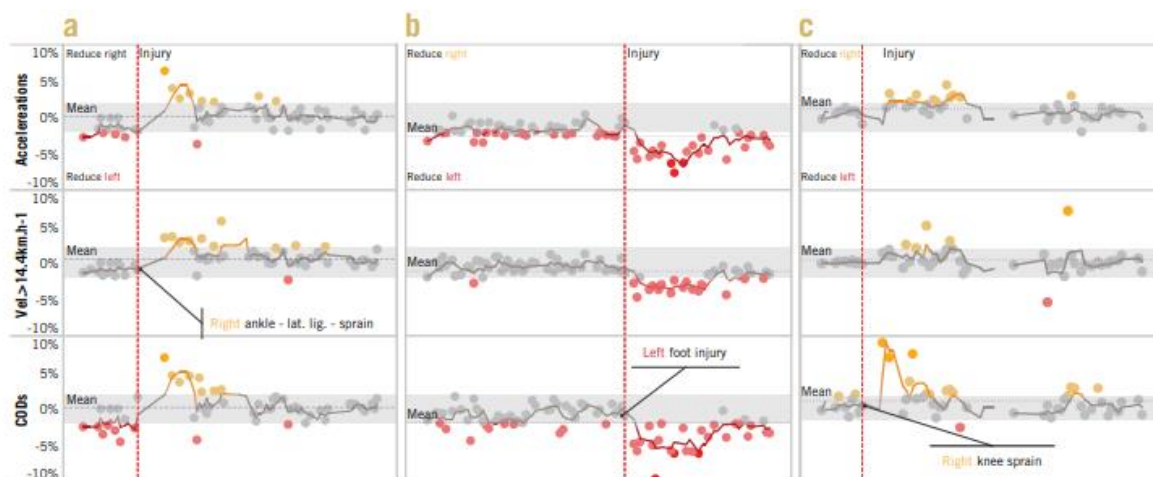
Источник: Buchheit и др., 2015 г.

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

Основной вывод этого исследования заключается в том, что инерционные системы позволяют оценить время контакта и вертикальную ригидность (stiffness) во время гонки. Кроме того, они позволяют контролировать нервно-мышечную усталость и производительность в видах спорта, которые основаны на гонке.

В другой публикации, Lacombe, Simpsons и Buchheit (2018 г.) используют эти системы для мониторинга и оценки адаптаций, сделанных до, после и во время процесса переподготовки к соревнованиям в различных видах травм. Для этого они анализируют различные переменные, такие как расстояние, скорость высокой интенсивности и изменения направления (изображение 14).

Изображение 14: Примеры эволюции симметрии в различных переменных до, во время и после травмы

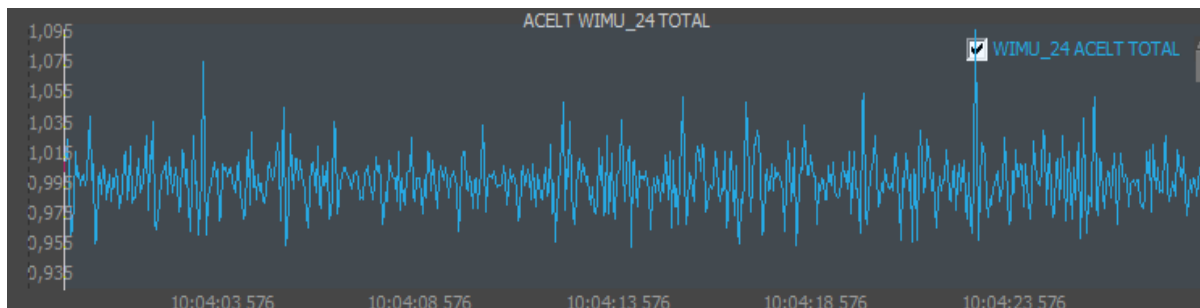


Источник: Lacombe, Simpsons и Buchheit, 2018 г., стр. 62.

a	a
b	б
c	в
Accelerations	Ускорения
Reduce right	Уменьшить правую
Reduce left	Уменьшить левую
Mean	Средняя
Injury	Травма
Right ankle. Lat. Lig - sprain	Правая лодыжка – боковая связка - растяжение
Left foot injury	Травма левой ноги
Right knee sprain	Растяжение правого колена

Помимо представленных тестов, инерционные устройства позволяют оценить стабильность кора. Были выполнены различные упражнения, которые вовлекали работу кора и рассчитался коэффициент вариации (CV) сигнала общего ускорения. Таким образом, устанавливался номер, косвенно указывающий на стабильность, требуемую для этого упражнения: чем больше был результат, тем сложнее было упражнение для кора (изображение 15).

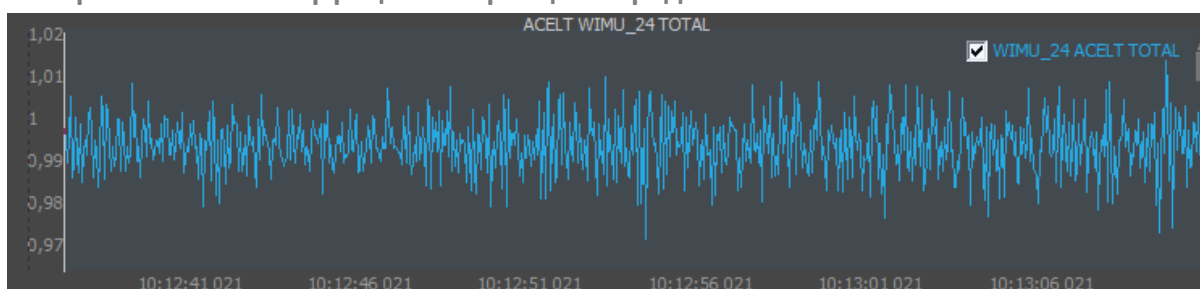
Изображение 15: Коэффициент вариации упражнения стабильности кора, выполняемого на четвереньках



Источник: Собственная разработка с устройствами WIMU, Realtrack Systems S.L.

Acelt Wimu_24 total	УСК WIMU_24ОБЩ
---------------------	----------------

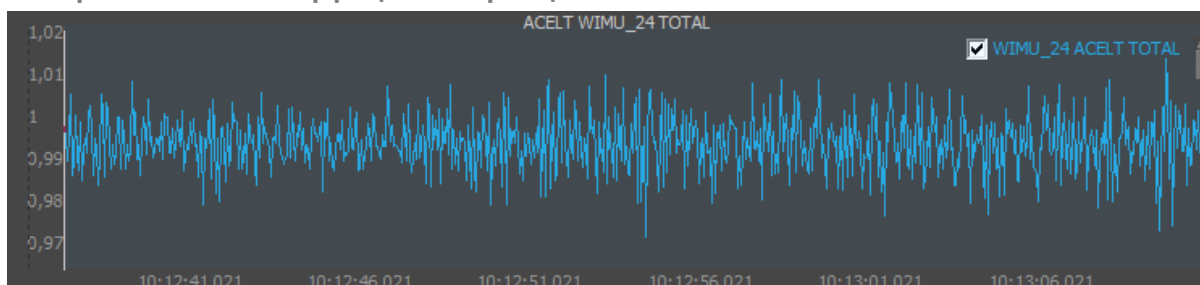
Изображение 16: Коэффициент вариации передней планки



Источник: Собственная разработка с устройствами WIMU, Realtrack Systems S.L.

Acelt Wimu_24 total	УСК WIMU_24ОБЩ
---------------------	----------------

Изображение 17: Коэффициент вариации боковой планки



Источник: Собственная разработка с устройствами WIMU, Realtrack Systems S.L.

Acelt Wimu_24 total	УСК WIMU_24ОБЩ
---------------------	----------------

На изображении 15 показан коэффициент вариации ($CV = 1.74$) низкоинтенсивного упражнения стабильности кора, выполняемого на четвереньках. Изображение 16, с



другой стороны, отражает прогрессирование предыдущего упражнения (передняя планка) и получает $CV = 0,64$. Изображение 17 показывает поведение CV в упражнении боковой планки, которое имеет значение, равное 0,91. Это позволяет создать объективную прогрессию для вызова кора. Опять же, научная литература служит для того, чтобы одобрить использование инерционных систем для анализа различных элементов, в данном случае, стабильности корпуса (Bastida-Castillo, Gómez-Carmona, Reche-Soto, Granero-Gil и Pino Ortega, 2018 г.).

Эта же идея применяется в CV для измерения стабильности, баланса в различных упражнениях, а также для установления уровня вызова каждой из них (1 или 2 опоры, использование дестабилизирующего материала, изменение центра тяжести и т. д.). В данном случае до сих пор нет научных доказательств.

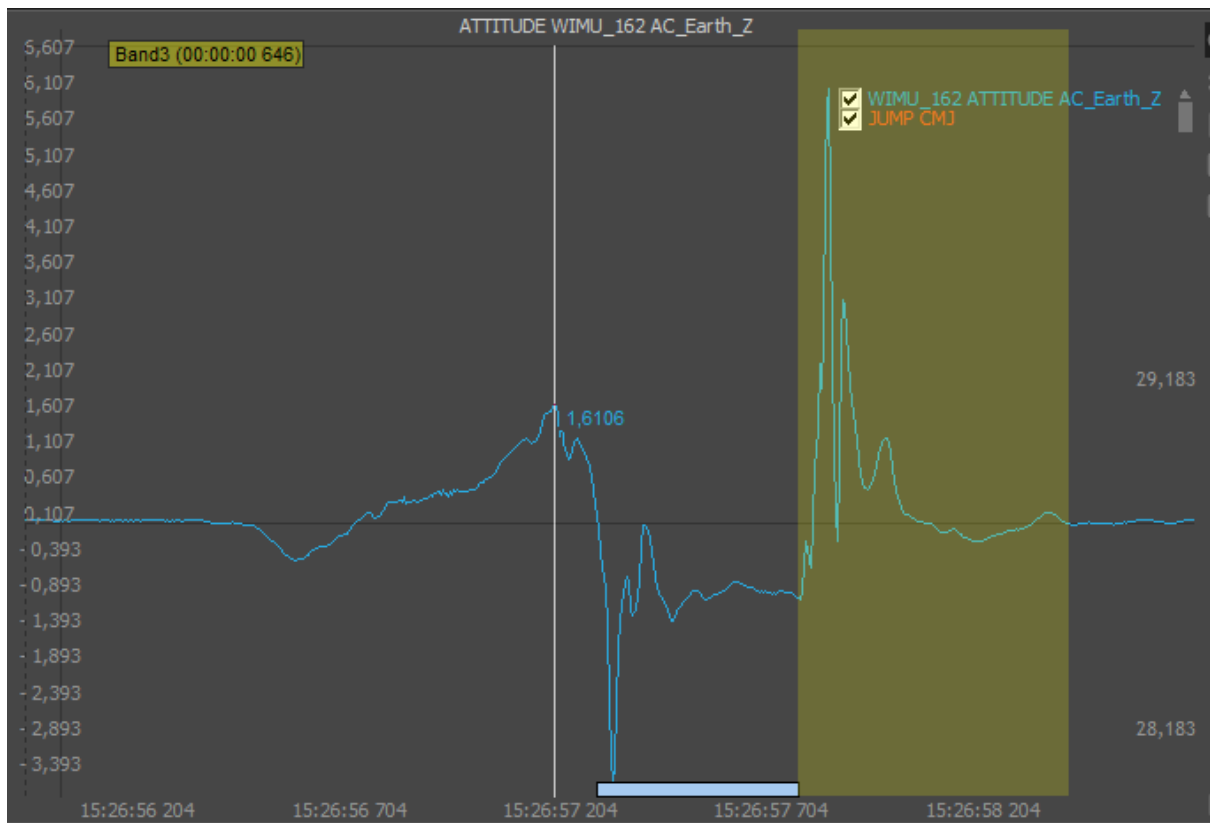
Кроме того, диапазон движения может быть измерен, либо путем выполнения сгибания бедра или дорсифлексии лодыжки. Это позволяет определить степени движения. Тест на сгибание бедра также был изучен с использованием инерционных систем, как и в случае Muуor в 2017 году.

Следующий тест (изображение 18) измеряет динамическую стабильность приземления на одну ногу в прыжке (СМJ). Рассчитывается время, необходимое до стабилизации, после выполнения прыжка. Эта проверка, в дополнение к выявлению возможного дефицита способностей стабилизации, помогает в процессе переподготовки после травмы. Этот тест не является научно подтвержденным.

Эти устройства также позволяют измерить следующие элементы:

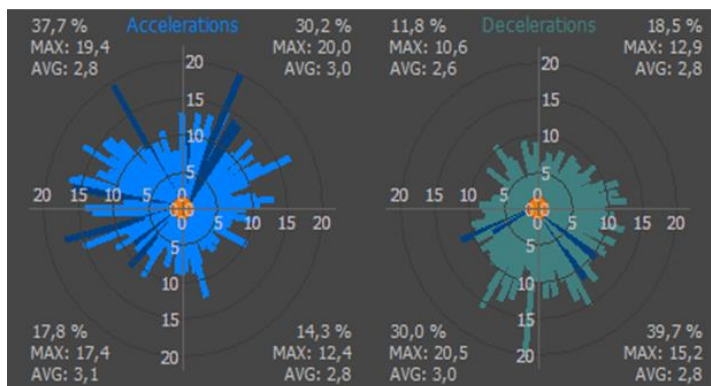
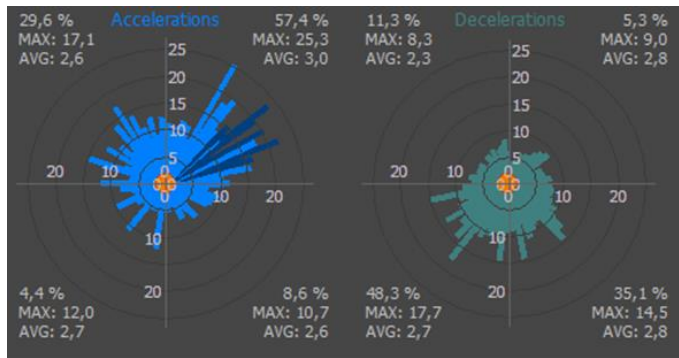
- силу, используемую в изменениях направления и установление возможных дефицитов между конечностями, а также сравнить значения между различными игроками, которые выполняют ту же задачу;
- сила, произведенная на присядки, выполненной на машине Смита с различными нагрузками, различая концентрическую фазу и эксцентрическую фазу;
- номер ускорений и замедлений в различных областях интенсивности (изображение 19) и
- механическую нагрузку игрока, бегущего по ленте с разными интенсивностями (изображение 20).

Изображение 18: Динамическая стабильность приземления (время до достижения стабилизации) на одной ноге в прыжке CMJ



Источник: Собственная разработка с устройствами WIMU, Realtrack Systems S.L.

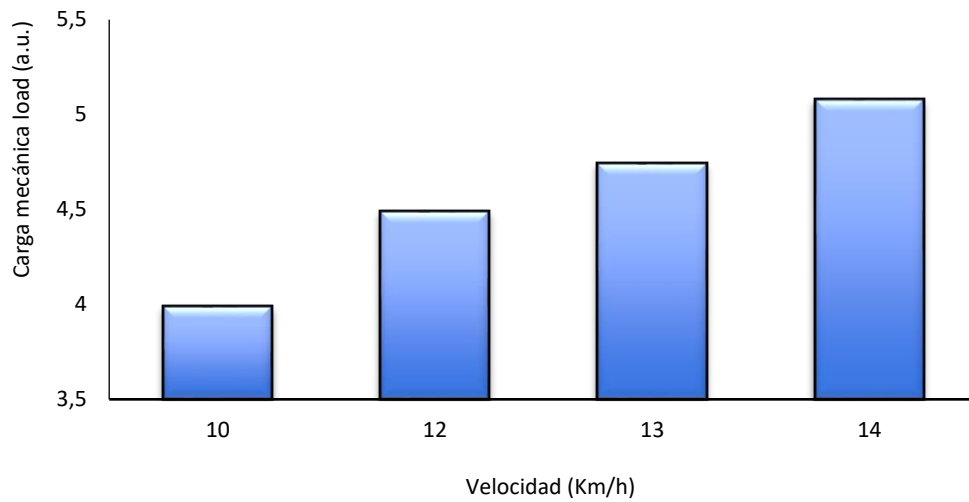
Изображение 19: Ускорения и замедления в технической и тактической тренировке игрока на этапе переподготовки к соревнованиям



Источник: Собственная разработка с устройствами WIMU, Realtrack Systems S.L.

Accelerations	Ускорения
Decelerations	Замедления
Max	Макс
Avg	Сред

Изображение 20: Механическая нагрузка в гонке на ленте с разными интенсивностями на этапе переподготовки к соревнованиям игрока



Источник: Собственная разработка с устройствами WIMU, Realtrack Systems S.L.

Carga mecánica load (a.u)	Механическая нагрузка (у.е.)
Velocidad (Km/h)	Скорость (км/ч)



Ссылки

Bastida-Castillo, A., Gómez-Carmona, C., Reche-Soto, P., Granero-Gil, P. y Pino Ortega, J. (2018 г.). Valoración de la estabilidad del tronco mediante un dispositivo inercial - Trunk stability assesment using an inercial device. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, 33, 199-203.

Buchheit, M., & Simpson, B. M. (2017 г.). Player-Tracking Technology: Half-Full or Half-Empty Glass? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2), 35-41. doi: 10.1123/ijspp.2016-0499

Buchheit, M., Gray, A. & Morin, J. B. (2015 г.). Assessing Stride Variables and Vertical Stiffness with GPS-Embedded Accelerometers: Preliminary Insights for the Monitoring of Neuromuscular Fatigue on the Field. ©*Journal of Sports Science and Medicine*, 14, 698-701. Взято из <http://www.jssm.org>

Gómez-Carmona, C. D., Bastida-Castillo, A., González-Custodio, A., Olcina, G. & Pino-Ortega, J. (2019 г.). Using an Inertial Device (WIMU PRO) to Quantify Neuromuscular Load in Running: Reliability, Convergent Validity, and Influence of Type of Surface and Device Location. *Journal of Strength and Conditioning Research* 00(00)/1–9^a. National Strength and Conditioning Association.

Lacome, M., Simpson, B. & Buchheit, M. (2018 г.). 2018 Monitoring training status with player-tracking technology. *Still on the road to Rome (Part 1)*, 55-63.

Lam, W. K., Woo, J., Liebenberg, J. N., Cheung, J., Ryu, P. J., Yoon, S., & Park, S. K. (2015 г.). Tibial accelerations and ground reaction forces in basketball shoes from different landing heights. *Footwear Science*, 7(1), 21–23. doi: 10.1080/19424280.2015.1036941

Muyor, J. (2017 г.). Validity and Reliability of a New Device (WIMU®) for Measuring Hamstring Muscle Extensibility. *International Journal of Sports Medicine*, 38(09), 691–695. doi: 10.1055/s-0043-108998

Pino-Ortega, J., García-Rubio, J., & Ibáñez, S. J. (2018 г.). Validity and reliability of the WIMU inertial device for the assesment of the vertical jump. *PeerJ*, 6, e4709. doi: 10.7717/peerj.4709

