ПРЕДЫДУЩАЯ ТРАВМА СВЯЗАНА С ПОВЫШЕННОЙ АСИММЕТРИЕЙ СИЛА-ВРЕМЯ В ПРЫЖКЕ С КОНТРДВИЖЕНИЕМ У ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ФУТБОЛИСТОВ

Luke M. Hart[1,2] | Daniel D Cohen[3] | Stephen D. Patterson[1] | Matt Springham[1] | James Reynolds[4] | Paul Read[5,6,7]

[1] Faculty of Sport, Health and Applied Sciences, St Mary's University, London, UK
[2] Sports Medicine Department, Sports Surgery Clinic, Dublin, Ireland
[3] Faculty of Health Sciences, University of Santander, Bucaramanga, Colombia
[4] Department of Science and Technology, Faculty of Health and Science, University of Suffolk, Ipswich, UK
[5] Athlete Health and Performance Research Centre, Aspetar Orthopaedic and Sports Medicine Hospital, Doha, Qatar
[6] School of Sport and Health Sciences, Cardiff Metropolitan University, Cardiff, UK
[7] School of Sport and Exercise, University of Gloucestershire, Gloucester, UK

Деловая перевиска
Luke M. Hart, ASCC, St. Marys University, London, Waldegrave Rd, Twickenham TW1 4SX, UK.
Email: lukehart@sportssurgeryclinic.com

КРАТКИЙ ОБЗОР

Раннее полученная травма связана с повышенным риском травм в будущем. Остаточная функциональная недостаточность мышц конечностей является потенциальным фактором, способствующим формированию компенсаторных моделей движений при возвращении в спорт. Целью этого исследования было изучить влияние предыдущей тяжелой травмы на двустороннюю асимметрию силы реакции на грунт, измеренную во время прыжка с контрдвижением (CMJ) с использованием платформы с двойной силой. В общей сложности 34 профессиональных футболиста мужского пола (возраст 19 ± 2 года) были разделены на две группы: наличие предыдущей тяжелой травмы (N = 17) или отсутствие тяжелой травмы (N = 17). Ранее травмированные игроки продемонстрировали значительно большую асимметрию в концентрических фазовых переменных (P < 0,05) при сильных размерах эффекта (диапазон = 0,99-1,35). Эти игроки также продемонстрировали значительно повышенную асимметрию в эксцентрических фазовых переменных (P < 0,05) и средних и

больших размерах эффекта (диапазон = 0,73-1,05), за исключением эксцентрического импульса замедления (P > 0,05; d = 0,33). Не было выявлено существенных различий между группами в показателях выполнения прыжков на двух ногах (P > 0,05). Эти данные указывают на то, что, несмотря на разрешение вернуться в спорт, участие в тренировках элитного уровня, в полноценных соревнованиях и отсутствие ухудшения результатов в прыжках, значительная асимметрия между конечностями сохраняется в концентрической и эксцентрической фазах CMJ.

Ключевые слова: прыжок с контрдвижением, сила реакции на землю, асимметрия между конечностями

1. ВВЕДЕНИЕ

Футбол характеризуется высокими физиологическими и механическими требованиями, с присущим ему риском травмирования нижних конечностей из-за частоты повторяющихся высокоскоростных разнонаправленных движений, таких как спринт, прыжки, приземление и смена направления в хаотичных условиях. Имеющиеся данные указывают на то, что предыдущая травма является сильнейшим фактором риска получения травм в будущем, при этом у игроков, получивших травму нижних конечностей, в 2-3 раза больше шансов получить идентичную травму в последующие сезоны.[1,2] Остаточная функциональная недостаточность мышц конечностей является возможным фактором риска, приводящим к компенсаторным моделям движений во время возвращения в спорт.[3] Повторная травма также приводит к увеличению продолжительности реабилитации по сравнению с потерей времени при первоначальной травме.[4] Таким образом, существует потребность в практичных и простых в применении инструментах для количественной оценки дефицита у игроков, перенесших предыдущую травму, обеспечивающих всесторонний нервно-мышечный профиль до их возвращения в спорт.

Ожидается, что в футболе определенная степень асимметрии будет развиваться в результате доминирования той или иной конечности, конкретной задачи и позиционных требований.[5-9] Например, исследования показывают, что у 39-60% игроков разница в силе нижних конечностей составляет >15%.[10-13] Доминирование той или иной нижней конечности, по-видимому, также формируется в раннем детстве при отсутствии очевидных различий в выполнении прыжковых заданий у

юных футболистов, которые находятся либо в возрасте до, около или в постпубертатном периоде.[14] Повышенная асимметрия также может быть следствием травмы и неполной реабилитации после предшествующей травмы нижних конечностей.[13,15,16] Доступно несколько исследований, описывающих характеристики ранее травмированных футболистов во время выполнения спортивных заданий и то, как их профили движений и асимметрии сравниваются с теми, кто ранее не получал серьезных травм.

В дополнение к изокинетическому или изометрическому тестированию силы определенных групп мышц, существует ряд других способов оценки асимметрии между конечностями.[17] Эти подходы обычно разрабатываются в целях клинического применения и переносятся на специфичные для спорта виды деятельности, такие как прыжки с трамплина.[18-20] Чувствительность этих тестов для выявления компенсаторных моделей движений сомнительна, если расстояние и высота прыжка являются единственными показателями результата. Сами по себе эти показатели не учитывают вариабельность выполнения движений, которая может сохраняться вследствие предыдущей травмы.[14,21] Кроме того, было показано, что показатели силы демонстрируют больший уровень асимметрии, чем показатели расстояния прыжка.[21] Чтобы обеспечить более точное представление о недостатках, лежащих в основе физической работоспособности после тяжелой травмы, необходимы более всесторонние оценки, особенно учитывая, что изменения, по-видимому, сохраняются в течение нескольких месяцев или лет после возвращения в спорт.[22-24]

Предыдущие исследования показали, что асимметрия силы вертикальной реакции на опору между конечностями (VGRF) сохраняется до 2 лет после повреждения передней крестообразной связки (ACL), измеренной во время вертикального прыжка «с падением».[24] Совсем недавно асимметрия VGRF на различных фазах прыжка с контрдвижением (CMJ) была показана после реконструкции ACL (ACL-R).[22,23,25] CMJ используется для измерения физической работоспособности и обычно включается в программу занятий спортом высших достижений. Исследования, в которых изучались профили VGRF во время этого теста у элитных футболистов, ранее получивших тяжелую травму, немногочисленны. Cohen, Clarke, Harland, Lewin[26] обнаружили, что асимметрия силы приземления, но не взлета, в предсезонном периоде была значительно выше у профессиональных игроков, получивших травму нижних конечностей, что привело к потере времени более чем на 7 дней в предыдущем сезоне по сравнению с игроками, не получившими травм.

Эффективные оценки по времени, способные выявить асимметрию между конечностями на различных этапах CMJ, могут предоставить практикующим специалистам полезную информацию для оптимизации производительности и определения уровня риска получения травмы игроком и его готовности вернуться в спорт. Однако для того, чтобы практикующие специалисты могли уверенно классифицировать асимметрию как «ненормальную», мы также должны установить «нормальный» профиль асимметрии игроков, выступающих в профессиональном футболе.

Целью этого исследования было сравнить двусторонние показатели CMJ и асимметрию VGRF в группе ранее травмированных и нетравмированных профессиональных футболистов. Было выдвинуто предположение, что те, кто ранее получил тяжелую травму, будут демонстрировать большую асимметрию между конечностями как в концентрической, так и в эксцентрической фазах, чем игроки, у которых не было травм в течение периода до 12 месяцев до тестирования, но двусторонние показатели производительности не будут различаться между группами.

2. МЕТОДЫ

2.1. Экспериментальный подход к проблеме

В этом исследовании использовался структура поперечного исследования для изучения и сравнения двусторонних показателей и асимметрии у ранее травмированных по сравнению с не травмированными профессиональными футболистами. После ознакомления участники должны были посетить 1 формализованную тестовую сессию, которая включала стандартизированную динамическую разминку и три тренировочных испытания перед выполнением 3 максимальных CMJ. Игроков попросили воздержаться от напряженной физической активности в течение 48 часов и придерживаться своего обычного рациона питания.

2.2. Испытуемые

В общей сложности 34 профессиональных футболиста мужского пола (возраст 19 ± 2,3 года; рост 179,91 ± 6,44 см; масса тела 76,59 ± 8,93 кг) из клуба Английской футбольной лиги вызвались добровольно принять участие в этом исследовании и были разделены на две группы: ранее травмированные спортсмены и спортсмены,

не получавшие травм (таблица 1). Критериями включения ранее травмированного игрока было возвращение к тренировкам и соревнованиям после тяжёлой травмы нижней конечности (потеря времени >28 дней), которая произошла в течение предшествующего 12-месячного периода.[27] Согласие участника и этическое одобрение были получены до тестирования. Это исследование было проведено в соответствии с принципами медицинских исследований, изложенными в Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации.[28]

2.3. Процедура проведения

2.3.1. Сообщение о травмах

Травмы, полученные до периода исследования и использованные для классификации игроков, были диагностированы и проспективно зафиксированы медицинским персоналом клуба. Травмы были задокументированы, если они произошли во время занятий, связанных с футболом, и, если игрок впоследствии не мог участвовать в тренировках или соревнованиях в течение как минимум 48 часов после инцидента, не включая день травмы (Price и др., 2004). Игроки классифицировались как травмированные до тех пор, пока медицинский персонал (дипломированные физиотерапевты) не счел, что они в состоянии возобновить полноценные тренировки.

ТАБЛИЦА 1 Характеристики субъекта (среднее значение ± SD)

Статус	n	Возраст (года)	Рост (см)	Вес (кг)
Раннее травмированные	17	19 ± 2	179.91 ± 7.04	76.88 ± 9.60
Нетравмированные	17	18 ± 2	179.97 ± 5.98	75.79 ± 8.51

2.3.2. Антропометрия

Массу тела (кг) измеряли на калиброванных врачебных весах (Seca 786 Culta). Рост в положении стоя (см) регистрировали на измерительной платформе (Seca 274).

2.3.3. Прыжки с контрдвижением

Участникам было поручено встать прямо на две синхронизированные одноосные силовые платформы (vertical ground reaction force) (Pasco), положив руки на бедра, и оставаться неподвижными в течение как минимум 2 секунд. Затем игрокам было приказано опуститься на выбранную ими самими глубину, чтобы прыгнуть как можно выше, включая тройное разгибание в лодыжке, колене и бедре с целью достижения максимального вертикального ускорения и смещения центра масс. Участники держали руки на бедрах во время прыжка, чтобы ограничить размахивание руками, и не допускали сгибания коленей во время полета. Были записаны три испытания с 2-минутным периодом отдыха между каждым прыжком. Средние значения трех прыжков были использованы для последующего анализа.

2.4. Анализ силовой платформы

VGRF были записаны с частотой дискретизации 1000 Гц с использованием фирменного программного обеспечения (NMP Force Decks v1.2.6109). Были определены фазы CMJ, и расчеты были проанализированы в соответствии с предыдущими рекомендациями.[22,23,29] В частности, начало прыжка определялось изменением веса тела на 20 Н, эксцентрическая фаза как время от начала прыжка до нулевой скорости, эксцентрическая фаза замедления от максимальной отрицательной скорости до нулевой скорости центра масс и концентрическая фаза от нулевой скорости до взлета. Были рассчитаны усилия как для концентрической, так и для эксцентрической фаз. Эксцентрическое: концентрическое отношение определялось как вклад и отдача силы от каждой фазы в общую сумму, зарегистрированную во время CMJ. Предполагается, что при сообщении об асимметриях во время двусторонних заданий следует вычислять различия между конечностями относительно общей суммы для этой переменной.[30] Однако, чтобы обеспечить возможность сравнения с предыдущими исследованиями[15,22,23] и сделать интерпретацию более осмысленной, абсолютная процентная асимметрия была рассчитана по формуле: (левая конечность-правая конечность)/(максимальная левая и правая) X 100.[23,31]

2.5. Статистический анализ

Для каждой группы были рассчитаны описательные статистические данные (среднее значение ± SD). Для сравнения травмированных и нетравмированных игроков в концентрической и эксцентрической фазах CMJ использовался t-

критерий с независимыми выборками, при этом уровень значимости был установлен на альфа-уровне P < 0,05. Величины эффекта d Коэна (Cohen's d) были рассчитаны для интерпретации величины различий между группами с использованием следующих классификаций: стандартизированные средние различия составляют 0,2, 0,5 и 0,8 для малых, средних и больших величин эффекта соответственно. Была определена статистическая мощность (G-мощность 3.1.9.2) для первичных переменных. Для достижения статистической достоверности в 80% требовался минимальный размер выборки в 10 участников на группу.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные ранее травмы приведены в таблице 2. Травмы колена и голеностопного сустава были анатомическими участками с наибольшей частотой встречаемости; наиболее частыми были растяжения связок и повреждения хрящей. Растяжения бедра были наиболее распространенными мышечными травмами.

Ранее травмированные игроки продемонстрировали значительно большую асимметрию во всех оцененных переменных концентрической фазы (P < 0,05) с сильными величинами эффекта (диапазон = 0,99-1,35) (таблица 3). Эти игроки также продемонстрировали значительно большую асимметрию по всем эксцентричным фазовым переменным (P < 0,05) со средними и большими размерами эффекта (диапазон = 0,73-1,05), за исключением эксцентричного исключения импульса замедления (P > 0,05; d = 0,33). Мы также разделили ранее травмированную группу и сравнили процент асимметрии у игроков с травмой доминирующей (N = 11) и недоминирующей (N = 6) конечности (таблица 4). Асимметрия была выше у пациентов с повреждениями не доминантной конечности по большинству переменных, но эти различия не были существенными. Однако, пиковая сила прыжка с контрдвижением и импульс CMJ продолжительностью 100 мс показали большие размеры эффекта и тенденцию к значимости (P = 0,59 и P = 0,54 соответственно).

Не было выявлено существенных различий между группами в показателях эффективности двусторонних прыжков (P > 0,05). Это было особенно очевидно для традиционных показателей эффективности, включая высоту прыжка и пиковую мощность, соответствующие небольшим размерам эффекта (таблица 5). Хотя это и не является статистически значимым, соотношение время полета :

время сокращения и соотношение эксцентрическая сила : концентрическая сил показали небольшие и средние различия в величине эффекта между травмированными и нетравмированными игроками.

ТАБЛИЦА 2 Место и тип травмы у предыдущих травмированных игроков

	n = 17	%
Локация травмы		
Лодыжка	5	29.41
Нижняя часть ноги/Ахилла	2	11.76
Колено	7	41.17
Бедро	2	11.76
Тозобедренный сустав/Пах	1	5.88
Вид травмы		
Связки/Хрящи	10	58.82
Мышечная система	4	23.52
Сухожилие	3	17.64

ТАБЛИЦА 3 Среднее значение ± SD переменных асимметрии прыжка в контрдвижением в концентрической и эксцентрической фазах

Переменная	Status	Asymmetry %	CI	Effect size
Концентрический импульс 100 ms	Раннее травмированные	10.85 ± 5.85[a]	7.84-13.85	0.99
	Нетравмированные	5.73 ± 4.33	3.51-7.96	
Концентрический импульс	Раннее травмированные	7.34 ± 3.62[a]	5.48-9.20	1.01
	Нетравмированные	4.06 ± 2.82	2.61-5.51	
Концентрическая пиковая сила	Раннее травмированные	8.23 ± 4.80[a]	5.76-10.70	1.35
	Нетравмированные	3.17 ± 2.28	2.00-4.34	
Отношение Эксцентрической и Концентрический силы	Раннее травмированные	10.91 ± 6.86[a]	7.38-14.44	0.87
	Нетравмированные	5.45 ± 5.62	2.56-8.34	
Эксцентрическое замедление RFD	Раннее травмированные	20.52 ± 10.64[a]	15.06-25.99	1.05
	Нетравмированные	10.52 ± 8.24	6.28-12.87	

Переменная	Status	Asymmetry %	CI	Effect size
Импульс Эксцентрического замедления	Раннее травмированные	12.60 ± 8.59	8.18-17.01	0.33
	Нетравмированные	9.66 ± 6.24	6.45-12.87	
Эксцентрическая пиковая сила	Раннее травмированные	11.98 ± 7.51[a]	8.11-15.84	0.73
	Нетравмированные	7.38 ± 4.81	4.91-9.85	
Сила при нулевой скорости	Раннее травмированные	11.93 ± 7.45[a]	8.10-15.76	0.73
	Нетравмированные	7.34 ± 4.89	4.82-9.86	

*Достоверная разница (p < 0,05)

ТАБЛИЦА 4 % асимметрии в прыжке с контрдвижением (среднее значение = SD) у ранее травмированных игроков с повреждениями в доминирующей (N = 11) и недоминирующей (N = 6) конечности

Variable	Status	Asymmetry %	Effect size
Концентрический импульс 100 ms	недоминирующая	14.30 ± 5.79	1.05
	доминирующая	8.98 ± 4.62	
Концентрический импульс	недоминирующая	6.65 ± 2.51	0.30
	доминирующая	7.71 ± 3.81	
Концентрическая пиковая сила	недоминирующая	11.2 ± 5.29	1.13
	доминирующая	6.61 ± 3.28	
Отношение Эксцентрической и Концентрический силы	недоминирующая	12.54 ± 9.52	0.39
	доминирующая	10.02 ± 4.08	
Эксцентрическое замедление RFD	недоминирующая	22.05 ± 12.10	0.23
	доминирующая	19.69 ± 9.09	
Эксцентрическое замедление импульса	недоминирующая	14.03 ± 9.26	0.27
	доминирующая	11.81 ± 7.66	
Эксцентрическая пиковая сила	недоминирующая	15.64 ± 6.19	0.84
	доминирующая	9.98 ± 6.91	
Сила при нулевой скорости	недоминирующая	15.48 ± 6.50	0.73
	доминирующая	10.00 ± 6.86	

ТАБЛИЦА 5 Среднее значение ± SD переменных характеристик прыжка с контрдвижением

Переменная производительности	Статус травмы	Mean ± SD	Effect size

Переменная производительности	Статус травмы	Mean ± SD	Effect size
Высота прыжка (см)	Раннее травмированные	33.9 ± 4.7	-0.24
	Нетравмированные	34.9 ± 3.6	
Виковая сила/ BW	Раннее травмированные	50.5 ± 6.1	-0.22
	Нетравмированные	51.7 ± 5.2	
Полёт-Сокращение время (сек)	Раннее травмированные	0.63 ± 0.08	-0.47
	Нетравмированные	0.67 ± 0.09	
Отношение Эксцентрической и Концентрический силы	Раннее травмированные	52.1 ± 3.7	0.51
	Нетравмированные	50.2 ± 3.3	
Концентрическая RPD/BW	Раннее травмированные	235.1 ± 61.4	-0.40
	Нетравмированные	258.6 ± 54.5	

4. ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящем исследовании сравнивались показатели производительности и асимметрия VGRF между конечностями во время CMJ с двух ног у элитных футболистов мужского пола с тяжелой травмой нижних конечностей в анамнезе в предыдущие 12 месяцев по сравнению с теми, у кого в течение того же периода не было травм. Основной вывод состоял в том, что, несмотря на отсутствие значимых различий в двусторонних показателях производительности между группами, присутствовали значительные различия между конечностями как в концентрических, так и в эксцентрических фазовых переменных. Эти данные указывают на то, что игроки, которые допущены к возвращению в спорт и активно участвуют в тренировках элитного уровня и футбольных соревнованиях, демонстрируют значительную нервно-мышечную компенсацию во время CMJ.

Эти результаты подтверждают существующие исследования[15,22-26] и демонстрируют доказательства компенсаторных стратегий или дефицита силы у ранее травмированных спортсменов при попытке максимизировать вертикальное смещение в CMJ. Предполагается, что эти стратегии проявляются во время двусторонних тестов, при которых асимметрия между конечностями может свидетельствовать об избежании чрезмерной нагрузки на ранее поврежденные ткани.[23] В то время как сравнения между исследованиями затруднены из-за различий в расчетах асимметрии или представлении описательной статистики,

индекс асимметрии составил 5,1% и 6,8% для концентрической пиковой силы[24] и концентрического импульса,[23] соответственно, после ACL-R, что согласуется с нашими результатами. Другие исследования как у ACL-R[25], так и у нетравмированных спортсменов[31] показали асимметрию CMJ между конечностями до 20%, что согласуется со значениями RFD эксцентрического замедления в настоящем исследовании. Эта переменная продемонстрировала наибольшую асимметрию как у травмированных, так и у невредимых игроков (20,52% и 10,52% соответственно) и большую и значимую межгрупповую разницу (d = 1,05). Интересно, однако, что не было обнаружено существенных различий в асимметрии импульса эксцентрического замедления, которая определяется как величиной усилия, так и временем, в течение которого оно создается, что представляет собой глобальную оценку по всей фазе. В соответствии с этим, значительно более высокая концентрическая импульсная асимметрия, но не эксцентрическая импульсная асимметрия была показана у лыжников с предшествующим ACL-R, в то время как о RFD с эксцентрическим замедлением в этом исследовании не сообщалось.

В то время как предшествующая травма может быть не связана с повышенной асимметрией в общей выработке силы в эксцентрической фазе, RFD эксцентрического замедления, который учитывает скорость увеличения силы по мере снижения массы спортсменом в конце спуска, по-видимому, демонстрирует стойкий остаточный дефицит после травмы нижней конечности. Следовательно, у спортсменов с предшествующей травмой могут наблюдаться изменения в форме кривой зависимости эксцентрического усилия от времени, а не в величине общей выработки усилия. Эти спортсмены применяют компенсаторную стратегию увеличения периода приложения силы на ранее задействованной стороне, что наблюдается у лиц после ACL-R с низкой, но не высокой функциональностью.[29] Хотя мы не сравнивали продолжительность фаз у травмированных и нетравмированных игроков, у травмированных игроков была значительно более высокая асимметрия в соотношении эксцентрической и концентрической силы (таблица 3) и тенденции, наблюдаемые в двусторонних переменных эксцентрическое : концентрическое соотношение и соотношение время полета : время сокращения (таблица 5). По-видимому, это подтверждает концепцию о том, что предшествующая травма может привести к относительному увеличению общей эксцентрической силы и времени, затрачиваемого на прыжок.

У здоровых спортсменов могут существовать функциональные нарушения между доминирующей конечностью (D) и недоминирующей конечностью (ND),[6] причем повреждение последней потенциально усугубляет эти нарушения. Поэтому было интересно оценить, повлияло ли на величину наблюдаемой асимметрии у ранее травмированных игроков в настоящем исследовании то, была ли травма нанесена доминирующей или недоминирующей конечности. В соответствии с эпидемиологическими данными, свидетельствующими о более высокой частоте большинства травм у элитных футболистов мужского пола на доминирующей конечности, только 6 из 17 игроков в настоящем исследовании получили травму недоминирующей конечности.[32,33] Таким образом, размер выборки, возможно, был недостаточным для надежного статистического сравнения, и мы не обнаружили существенных различий по величине асимметрии между игроками с травмами конечностей D и ND. Большие различия в величине эффекта в асимметрии концентрической пиковой силы и концентрического импульса на 100 мс предполагают большую асимметрию у игроков с предшествующей травмой ND. Кроме того, средние величины эффекта для других переменных, по-видимому, указывают на то, что, по крайней мере, в отношении CMJ на двух ногах, повреждения недоминированной конечности может быть связано с большей асимметрией. Несколько исследований изучали это взаимодействие, но Strandberg, Lindstrom, Wretling, Aspelin, Shalabi[34] сообщили о большей площади асимметрии поперечного сечения четырехглавой мышцы после травмы правой стороны (обычно доминирующей конечности), чем при травме левой стороны ACL у футболистов, ожидающих операции по реконструкции. Учитывая эти явно противоречивые результаты, которые, возможно, требуют рассмотрения в процессе реабилитации, взаимодействие между стороной травмы и величиной асимметрии/дефицита требует дальнейшего изучения.

Не было выявлено существенных различий между группами в двусторонних переменных производительности в «обычных» показателях производительности, таких как высота прыжка и пиковая мощность. Однако соотношение время полета: время сжатия, соотношение эксцентрической и концентрической силы и скорость развития мощности показали повышенные различия со значениями, приближающимися к умеренной величине эффекта, хотя эти различия не были существенными. Тем не менее, результаты текущего исследования показывают, что ранее травмированные футболисты демонстрируют компенсаторные модели поведения в своей стратегии прыжков для достижения желаемого результата

выступления, и эти переменные могут быть более чувствительны к последствиям предыдущей травмы, чем обычно регистрируемые параметры. Предыдущая травма была связана с будущей травмой у профессиональных футболистов[35], и хотя механическая связь между предыдущим и будущим риском травмы четко не определена,[27] вполне вероятно, что остаточный дефицит после травмы или выраженная асимметрия между конечностями могут быть важным фактором, способствующим этому.[36] Необходимы дальнейшие исследования для более полного выяснения влияния этих компенсаторных стратегий на частоту получения травм в будущем.

Предыдущие исследования показали, что асимметрию >10%-15% следует считать «ненормальной» и потенциально свидетельствующей о дисфункции.[24] Наш анализ показывает, что глобальный порог не подходит, поскольку мы обнаружили существенные различия в величине асимметрии в концентрической и эксцентрической фазах у ранее травмированных и не получивших травмы игроков. Например, у игроков, не получивших травм, установка порога асимметрии в 10% в концентрическом импульсе будет приравниваться более чем к двум стандартным отклонениям от средних значений, тогда как это значение представляет среднее значение RFD эксцентрического замедления. Кроме того, не получившие травм элитные лыжники из контрольной группы также показали значения асимметрии, близкие к 0% во время CMJ,[23] тогда как у не получивших травм футболистов в текущем исследовании были зафиксированы значения асимметрии в диапазоне от ~3% до 11% в зависимости от выбранной переменной. Эти данные указывают на то, что если для выявления «аномальных» уровней асимметрии следует использовать заранее определенные пороговые значения, то они должны быть спортивными, тестовыми, переменными и зависящими от фазы.

Наши результаты имеют значение для мониторинга спортсменов и принятия решений в рамках процесса возвращения к игре. Хотя, возможно, была соблюдена комплексная программа реабилитации, по сравнению с игроками, не получившими травм, выраженная асимметрия между конечностями, по-видимому, сохраняется как в концентрических, так и в эксцентрических кинетических переменных, полученных по vGRF. Однако при интерпретации наших результатов следует учитывать некоторые ограничения. Во-первых, мы пришли к выводу, что наблюдаемые нами межгрупповые различия в асимметрии конечностей были следствием предшествующей травмы и реабилитации. Тем не менее, поперечный характер исследования означает, что мы не можем исключить возможность того,

что эти игроки демонстрировали большую асимметрию до получения травмы. Имеются доказательства того, что асимметрия силы между конечностями является фактором риска мышечных травм,[36] хотя асимметрия CMJ и предполагаемая травма не исследовались. Во-вторых, из-за размера выборки субанализ профиля асимметрии, связанного с конкретными травмами, был невозможен, и мы объединили все случаи поражения нижних конечностей для проведения анализа. В-третьих, наш анализ не позволяет нам определить, обусловлены ли наблюдаемые нами асимметрии между конечностями дефицитом площади поперечного сечения нервов, сухожилий и/или мышц. Наконец, учитывая различия между профилем асимметрии, который мы наблюдали, и теми, о которых сообщалось у элитных спортсменов в разных видах спорта, эти результаты также могут быть характерны для профессионального футбола.

Таким образом, будущие исследования должны как рассмотреть характеристику профиля асимметрии в других популяциях спортсменов, так и определить, связаны ли дефициты в конкретных переменных с анатомическим расположением и типом травмы или это глобальные дефициты, связанные с травмой нижних конечностей как таковой. Тем не менее, текущие результаты свидетельствуют о том, что оценка асимметрии между конечностями во время двустороннего CMJ может предоставить практикующим врачам диагностический инструмент, который более полно информирует о решениях о возвращении к игре и рекомендациях для будущих тренировок.

4.1. Перспективы

CMJ обычно используется для составления профиля футболистов для мониторинга готовности спортсменов после реабилитации, тренировок и соревнований. Сравнивая профиль асимметрии у игроков с предшествующей травмой и без нее по конкретным переменным, мы продемонстрировали как величину «нормальной» асимметрии в профессиональном футболе, так и конкретные переменные в фазах CMJ, которые демонстрируют большие различия между конечностями у игроков с предшествующей травмой. Настоящее исследование показывает, что несмотря на то, что элитные футболисты успешно возвращаются к игре без очевидных нарушений в выполнении двусторонних прыжков, ряд асимметрий сохраняется. Хотя механизмы и последствия этих различий не были измерены, вполне вероятно, что выявленные дисбалансы являются стратегией компенсации, позволяющей

избежать чрезмерной нагрузки на ранее поврежденные ткани. Таким образом, оценку асимметрии VGRF во время CMJ можно считать практичным и эффективным инструментом для выявления остаточного нервно-мышечного дефицита после предыдущей тяжелой травмы. Различия между конечностями также, по-видимому, усиливаются в переменных, измеряемых во время эксцентрической фазы, и в тех, которые характеризуются быстрым созданием усилия. Программы реабилитации после тяжелой травмы нижних конечностей могут быть более эффективными, если стратегии тренировок основаны на объективной оценке этих недостатков, а затем нацелены как часть индивидуального подхода к возвращению в спорт.

ORCID

Luke M. Hart https://orcid.org/0000-0003-4305-7093

Daniel D Cohen https://orcid.org/0000-0002-0899-4623

Stephen D. Patterson https://orcid.org/0000-0003-4667-9939

Paul Read https://orcid.org/0000-0002-1508-8602

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hurley M. The effects of joint damage on muscle function, proprioception and rehabilitation. *Man Ther*. 1997;2(1):11-17.

2. Ekstrand J, Tropp H. The incidence of ankle sprains in soccer. *Foot Ankle*. 1990;11(1):41-44.

3. Dvorak J, Junge A. Football Injuries and physical symptoms. *Am J Sports Med*. 2000;28(5_suppl):S3-S9.

4. Hägglund M, Waldén M, Ekstrand J. Previous injury as a risk factor for injury in elite football: a prospective study over two consecutive seasons. *Br J Sports Med*. 2006;40(9):767-772.

5. Croisier J-L, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret J-M. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players a prospective study. *Am J Sports Med*. 2008;36(8):1469-1475.

6. Newton RU, Gerber A, Nimphius S, et al. Determination of functional strength imbalance of the lower extremities. *J Strength Cond Res*. 2006;20(4):971-977.

7. Knapik JJ, Bauman CL, Jones BH, Harris JM, Vaughan L. Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *Am*

J Sports Med. 1991;19(1):76-81.
8. Read P, Oliver JL, Croix M, Myer GD, Lloyd RS. Injury risk factors in male youth soccer players. *Strength Cond J*. 2015;37(5):1-7.
9. Hopkins JT, Ingersoll CD. Arthrogenic muscle inhibition: a limiting factor in joint rehabilitation. *J Sport Rehabil*. 2000;9(2):135-159.
10. Mognoni P, Narici M, Sirtori M, Lorenzelli F. Isokinetic torques and kicking maximal ball velocity in young soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*. 1994;34(4):357-361.
11. Fousekis K, Tsepis E, Vagenas G. Multivariate isokinetic strength asymmetries of the knee and ankle in professional soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*. 2010;50(4):465-474.
12. Croisier JL, Reveillon V, Ferret JM, et al. Isokinetic assessment of knee flexors and extensors in professional soccer players. *Isokinet Exerc Sci*. 2003;11(1):61-62.
13. Rahnama N, Lees A, Bambaecichi E. A comparison of muscle strength and flexibility between the preferred and non-preferred leg in English soccer players. *Ergonomics*. 2005;48(11–14):1568-1575.
14. Read PJ, Oliver JL, De Ste CM, Myer GD, Lloyd RS. A prospective investigation to evaluate risk factors for lower extremity injury risk in male youth soccer players. *Scand J Med Sci Sports*. 2018;28(3):1244-1251.
15. Impellizzeri FM, Rampinini E, Maffiuletti N, Marcora SM. A vertical jump force test for assessing bilateral strength asymmetry in athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(11):2044.
16. Ernst GP, Saliba E, Diduch DR, Hurwitz SR, Ball DW. Lower-extremity compensations following anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther*. 2000;80(3):251.
17. Bishop C, Turner A, Jarvis P, Chavda S, Read P. Considerations for selecting field-based strength and power fitness tests to measure asymmetries. *J Strength Cond Res*. 2017;31(9):2635-2644.
18. Hamilton AT, Shultz SJ, Schmitz RJ, Perrin DH. Triple-hop distance as a valid predictor of lower limb strength and power. *J Athl Train*. 2008;43(2):141.
19. Fitzgerald GK, Lephart SM, Hwang JH, Wainner M. Hop tests as predictors of dynamic knee stability. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2001;31(10):588-597.
20. Petschnig R, Baron R, Albrecht M. The relationship between isokinetic quadriceps strength test and hop tests for distance and one-legged vertical jump test following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1998;28(1):23 31.
21. Read PJ, Oliver JL, Myer GD, De Ste Croix MB, Lloyd RS. The effects of maturation

on measures of asymmetry during neuromuscular control tests in elite male youth soccer players. *Pediatr Exerc Sci*. 2018;30(1):168-175.
22. Baumgart C, Schubert M, Hoppe MW, Gokeler A, Freiwald J. Do ground reaction forces during unilateral and bilateral movements exhibit compensation strategies following ACL reconstruction? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25(5):1385-1394.
23. Jordan M, Aagaard P, Herzog W. Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: a comparison between ski racers with and without ACL reconstruction. *Scand J Med Sci Sports*. 2015;25(3):301-309.
24. Paterno MV, Ford KR, Myer GD, Heyl R, Hewett TE. Limb asymmetries in landing and jumping 2 years following anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin J Sport Med*. 2007;17(4):258-262.
25. Dai B, Butler R, Garrett W, Queen R. Using ground reaction force to predict knee kinetic asymmetry following anterior cruciate ligament reconstruction. *Scand J Med Sci Sports*. 2014;24(6):974-981.
26. Cohen D, Clarke N, Harland S, Lewin C. Are force asymmetries measured in jump tests associated with previous injury in professional footballers? *Br J Sports Med*. 2014;48(7):579-580.
27. Ekstrand J, Hägglund M, Waldén M. Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study. *Br J Sports Med*. 2011;45: 553–558.
28. Association WM. World. Medical association declaration of Helsinki. Ethical principles for medical research involving human subjects. *Nurs Ethics*. 2002;9(1):105.
29. Baumgart C, Hoppe MW, Freiwald J. Phase-specific ground reaction force analyses of bilateral and unilateral jumps in patients with ACL reconstruction. *Orthop J Sports Med*. 2017;5(6):2325967117710912.
30. Bishop C, Read P, Lake J, Chavda S, Turner A. Inter-limb asymmetries: understanding how to calculate differences from bilateral and unilateral tests. *Strength Cond J*. 2018; 40(4): 1–6.
31. Menzel H-J, Chagas MH, Szmuchrowski LA, Araujo SR, de Andrade AG, de Jesus-Moraleida FR. Analysis of lower limb asymmetries by isokinetic and vertical jump tests in soccer players. *J Strength Cond Res*. 2013;27(5):1370-1377.
32. Hägglund M, Waldén M, Ekstrand J. Risk factors for lower extremity muscle injury in professional soccer: the UEFA injury study. *Am J Sports Med*. 2013;41(2):327-335.
33. Waldén M, Hägglund M, Ekstrand J. Time-trends and circumstances surrounding ankle injuries in men's professional football: an 11-year follow-up of the UEFA

champions league injury study. *Br J Sports Med*. 2013;47(12):748-753.
34. Strandberg S, Lindström M, Wretling M-L, Aspelin P, Shalabi A. Muscle morphometric effect of anterior cruciate ligament injury measured by computed tomography: aspects on using non-injured leg as control. *BMC Musculoskelet Disord*. 2013;14(1):150.
35. Fulton J, Wright K, Kelly M, et al. Injury risk is altered by previous injury: a systematic review of the literature and presentation of causative neuromuscular factors. *Int J Sports Phys Ther*. 2014;9(5):583.
36. Fousekis K, Tsepis E, Vagenas G. Lower limb strength in professional soccer players: profile, asymmetry, and training age. *J Sports Sci Med*. 2010;9(3):364-373.