

МИНИСТЕРСТВО СПОРТА, ТУРИЗМА И МОЛОДЕЖНОЙ  
ПОЛИТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ «ЦЕНТР СПОРТИВНОЙ ПОДГОТОВКИ  
СБОРНЫХ КОМАНД РОССИИ»

Единый отраслевой аналитический центр

*Для ограниченного пользования*

# **ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ СПОРТСМЕНОВ ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ В ФИГУРНОМ КАТАНИИ**

*Сборник информационных материалов*

Рекомендовано к изданию методической комиссией  
при Экспертном совете по вопросам организации  
подготовки и участия спортивных сборных команд  
Российской Федерации в Олимпийских играх  
Минспорта и туризма Российской Федерации

Москва 2011

Сборник информационных материалов подготовлен на основании материалов НИИР, выполненной Российским государственным университетом физической культуры, спорта, молодежи и туризма в соответствии с планом научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ Минспорттуризма России на 2011 год

*Редакционная коллегия ФБГУ «Центр спортивной подготовки сборных команд России»:*

А.М. Кравцов (главный редактор), А.Г. Абалян,  
С.П. Евсеев, Е.Б. Мякинченко, Т.Г. Фомиченко,  
С.Л. Хоронюк, М.П. Шестаков (зам. главного редактора),  
Ю.Н. Шилин (ответственный секретарь)

Особенности подготовки спортсменов высокой квалификации в фигурном катании: Сборник информационных материалов. — М.: ТВТ Дивизион, 2011. — 56 с.

ISBN 978-5-98724-097-7

Информационные материалы содержат описание особенностей использования различных средств и методов подготовки спортсменов высокой квалификации к ответственным международным соревнованиям.

Сборник предназначен для тренеров и спортсменов сборных команд, а также специалистов различных научных направлений принимающих участие в подготовке фигуристов высокой квалификации.

**УДК 796.611**

**ISBN 978-5-98724-097-7**

© Минспорттуризм России, 2011  
© Оформление, ТВТ Дивизион, 2011

1. СЕКРЕТ ПРИЗЕМЛЕНИЯ: БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ И ПЕРЦЕПТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРЫЖКОВ НА ЛЬДУ В ФИГУРНОМ КАТАНИИ .....	4
2. СРАВНЕНИЕ ДВОЙНОЙ И ТРОЙНОЙ ПОДКРУТОК В ПАРНОМ ФИГУРНОМ КАТАНИИ .....	19
3. ПОЛОВОЕ СОЗРЕВАНИЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ САМОВОСПРИЯТИЕ КОНКУРЕНТНОСПОСОБНЫХ ФИГУРИСТОК .....	45

## СЕКРЕТ ПРИЗЕМЛЕНИЯ: БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ И ПЕРЦЕПТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРЫЖКОВ НА ЛЬДУ В ФИГУРНОМ КАТАНИИ

---

*Lockwood KL, Gervais PJ, McCreary DR.*

*Отдел физического воспитания кинезиологии,  
университета Брок, Санкт Катарина, Онтарио, Канада*

В сложных условиях соревновательного вида спорта разница в положении на пьедестале и при завершении в плотной группе могут разделять доли процентного балла. Тренерам и спортсменам ассистируют биомеханики, инструкторы ЛФК, спортивные психологи, инженеры и компьютерные специалисты, пытаясь дать спортсмену возможность полностью раскрыть свой потенциал. Во многих видах спорта интеграция этих дисциплин часто оборачивается успехом в соревнованиях; например, бегуны бегут быстрее всех, прыгают выше всех или поднимают максимальный вес. Но не во всех видах спорта это так.

Техническая оценка в фигурном катании характеризуется субъективной бальной системой оценок, на которую часто смотрят критически из-за отсутствия объективности. В соревновательных условиях судьи несут ответственность за вынесение быстрых и точных оценок качества выполнения технических элементов, а также за присвоение баллов за общее эстетическое впечатление от выступления, базируясь на его восприятии. Поэтому, судейство в этом виде спорта можно определить как процесс измерения без использования приборов для количественного измерения. Данный процесс измерения включает в себя присвоение чисел отдельным элементам в выступлении с целью точной передачи качества выполнения этих элементов или связей в цифровом (оценка) виде. Оценка (в виде числа, цифры) достигается путем вычитания баллов за совершенные ошибки в выступлении от произвольно выбранного базового счета. Так, процесс измерения,

определенный Международным союзом конькобежцев (ISU) и применяемый судьями фигурного катания, должен определить правила численного выражения ошибок в выступлении.

Традиционно, общие баллы присваиваются за выступление в целом; однако, приземление при прыжке по всеобщему признанию является одним из самых критически важных элементов программы фигуриста. В короткой программе 3 из 8 требуемых элементов связаны с прыжками, а в большой программе фигуристы выполняют в среднем 8-12 прыжков за 4 – 4:30 часа. Следовательно, подразумевается по умолчанию, что прыжки могут в потенциале оказывать существенное влияние на баллы за выступление. Кроме того, ввиду природы данного вида спорта прыжки производят глубокое впечатление на судей и надолго остаются в их памяти в виде присвоенных ими баллов. Таким образом, плохо выполненные приземления отрицательно сказываются на счете фигуриста.

На сегодняшний день нет сообщений об эмпирической оценке приземлений после прыжков, будь это биомеханическая, перцептуальная или техническая оценка.

Однако, если говорить о гимнастике – аналогичном субъективно оцениваемом виде спорта, в котором есть прыжки – оценки на чемпионате мира по гимнастике 1993 года показали, что на 96% всех приземлений, выполненных мужчинами старшего возраста, вычитались очки за технические или перцептуально технические ошибки. Это свидетельствует о том, что значительное число приземлений были выполнены в соответствии с судейским восприятием ниже оптимального уровня техники или контроля (Fink, 1993).

Современный биомеханический анализ дает возможность выйти за перцептуальные рамки и обеспечить эмпирическое измерение уровня мастерства в спортивных выступлениях.

В других видах спорта связь между механическими переменными характеристиками и субъективной информацией или перцептивной оценкой выступления изучалась с применением индивидуально одиноких проектов как при анализе механики выступления спортсмена – того, что тот или иной спортсмен чувствует о своем выступлении. Lake и Lafortune (1998) изучали связь между механическими данными и восприятием тяжести динамической нагрузки нижних конечностей.

тей с использованием маятникового прибора и обнаружили высокую степень корреляции механических переменных величин и субъективным рейтингом.

Различные исследования бега показывают высокую степень корреляции между субъективным восприятием воздействия и биомеханическими переменными величинами, связанными с беговыми травмами (Milani et al., 1977). Однако, при сравнении механических переменных величин спортсмена с восприятием оценщика его/ее выступления добавляет еще одно измерение, значение которого неясно и нуждается в дополнительном исследовании.

В данном исследовании приземления при прыжках на льду оценивались традиционным методом через восприятие выступления судьей и затем сравнивались с результатами биомеханического анализа мастерства исполнения. **Цель исследования состояла** в определении биомеханических переменных, которые влияют на успешное выполнение приземлений и получают ли оптимальные с точки зрения биомеханики приземления высокую оценку судей за технический уровень исполнения.

Это находит отражение в биомеханических профилях приземления, которые иллюстрируют позитивную корреляцию оптимальной механики приземления с судейским восприятием технического мастерства.

### Организация исследований

Десять фигуристов, выступающих на национальном уровне, и 42 аккредитованных канадских судьи фигурного катания дали согласие на участие в исследовании. Сбор данных проходил в два этапа. **На первом этапе** исполнение фигуристами двойных или тройных прыжков снималось на видео. Фигуристов просили выполнить приземления после прыжков без технических ошибок. Успех определялся приземлением назад на один конек при завершении требуемого числа вращений, сохраняя входную скорость и контроль. Для обеспечения однообразия данных образца оценивались только те прыжки, при которых фаза приземления соответствовала рабочему определению образцового приземления.

Например, падения или приземления на два конька не включались. Далее, для анализа отбирались только прыжки, фаза приземления которых приходилась на выделенную расчетную зону. Кроме того, и в нашем случае исследование может касаться сравнения между субъективным и объективным измерением параметров выступления, не принимая в расчет является ли индивидуальное выступление типичным выступлением фигуриста. Поэтому, отбор одиночного прыжка каждого фигуриста делался на основе субъективной оценки лучшего технического исполнения.

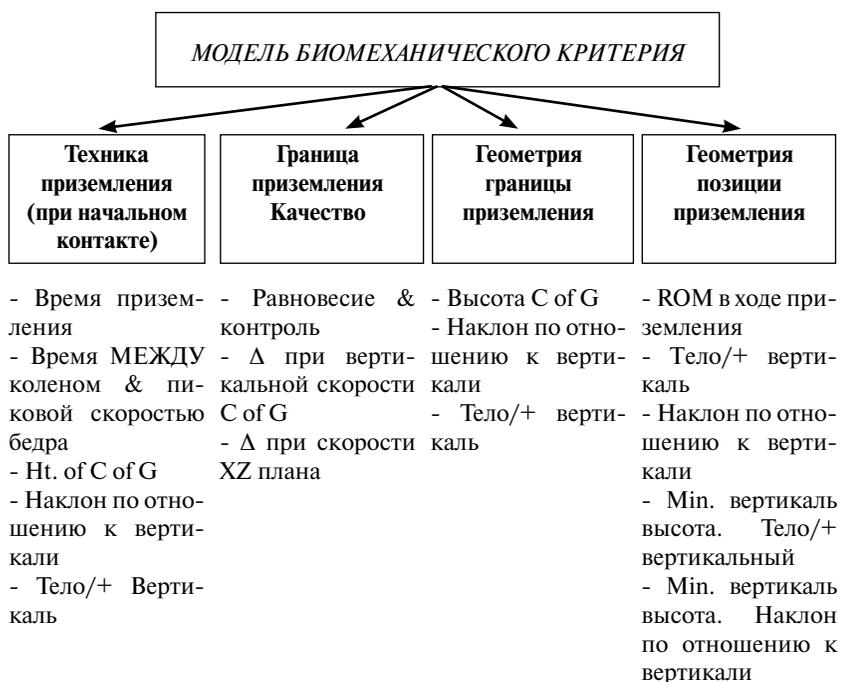
**На втором этапе** исследования видеоматериалы приземления каждого из 10 фигуристов анализировались с целью сравнения двумя методами; во-первых — биомеханическим с использованием программного приложения для анализа движения, во-вторых — перцептуально с помощью аккредитованных судей, как будет показано ниже.

### Биомеханический анализ

Прежде чем снимать на видео фигуристов снабдили легкими ретро-отражающими маркерами, размещенных на 19 стандартных анатомических ориентирных точках для облегчения последующего биомеханического анализа (Clauser et al., 1969. Создавалась 3D-видеография с использованием двух цифровых видеокамер JVC DVL-9800, работающих при частоте 60 герц. и скорость затвора 1/250 сек. Камеры установлены так, чтобы получить две косых проекции зоны объекта. Поскольку приземление в основном было плоскостным, эти два вида обеспечивают достаточный охват зоны движения фигуристов во время приземления. Частота кадра 60 герц считается достаточной для получения данных для расчета отобранных биомеханических измерений. Фигуристов попросили выполнить прыжки в рамках расчетного пространства для прыжков вкуче с приземлениями — пытаться приземляться без технических ошибок, которые могут привести к техническим или эстетическим вычетам. Для дальнейшего анализа использовались только правильные приземления. Система анализа выступлений Ariel (APAS, Ariel Dynamics Inc.) 3D координаты 19 точек на туловище были рассчитаны путем комбинирования

видеоизображений двух камер, используя метод прямой линейной трансформации (DLT) (Abdel-Aziz и Karara, 1971).

Производился расчет отобранных кинематических измерений для биомеханического профилирования приземлений как перечисляется на рис. 1. Затем была разработана модель биомеханических критериев группируя независимые кинематические измерения на четыре категории как показано на рис 1. Категории включают в себя технику приземления, качество границы приземления, геометрию границы приземления и геометрию позиции приземления. Считается, что эти четыре категории биомеханических переменных являются важными идентификаторами успешных приземлений на льду.



*Рис 1. Модель биомеханических критериев, в том числе четыре категории механических переменных определяемых для оценки правильного прыжкового приземления (BTW = между; WRT = по отношению).*

## Судейский перцептуальный анализ

Отснятые видеоматериалы были просмотрены и оценены 42 аккредитованными судьями для определения воспринимаемого и эстетического качества десяти выполненных приземлений. Судьи просмотрели видеоматериалы в приватной и спокойной обстановке. Разрешался повторный просмотр при необходимости для тщательного изучения каждого прыжка. Судьям было предложено оценить фазу приземления каждого прыжка используя документ с критериями приземления (таблица 1). Данный документ включает в себя 18 переменных величин (Q1-19) сгруппированных на пять категорий (Общее исполнение приземления, техника исполнения, качество границы приземления, геометрия границы приземления и геометрия позиции туловища). Вопрос 9 (Q9) был удален, так как расшифровать звук видеоизображения выступления не было возможности. Переменные документа по критериям согласовались с переменными, использованными во время судейства национальных спортивных мероприятий.

Единственное различие состояло в том, что прыжки, оцениваемые в исследовании, выполнялись в изоляции, а не в составе хореографической программы. Первая категория (А) была создана для отражения восприятия судей общего исполнения приземлений. Следующие четыре категории (В-Е) были параллельны категориям, определяемым в модели биомеханических критериев (техника приземления, качество границы приземления, геометрия границы приземления и геометрия позиции приземления). Все переменные в каждой категории оценивались по пятибалльной системе по шкале Ликерта, причем, 1 самая низкая, а 5 самая высокая оценка. Средний уровень баллов в каждой из пяти категорий рассчитывался для каждого из 10 прыжковых приземлений. Модель перцептуальных критериев, следовательно, включает эти пять категорий описательных критериев и определяет критические идентификаторы приземлений, как показано в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительная модель, иллюстрирующая категории критически важные идентификаторы исполнения приземления, определяемых согласно судейскому документу по критериям

Сравнительные категории	Рейтинг судейских критериев
А Общее исполнение приземлений	Q1 – Приземление в целом
	Q2 – Полное вращение
В Техника приземления при начальном контакте	Q3 – Последовательность от носка до границы
	Q4 – Позиция
	Q5 – Стабильность – равновесие Равновесие на приземляющейся ноге
	Q6 – Непрерывность
С Качество границы приземления	Q7 – Контроль
	Q8 – Гладкость
	Q9 – Звук
	Q10 – Скорость
D Геометрия границы приземления	Q11 – Arc
	Q12 – Длина дуги приземления
	Q13 – Выровненность
E Геометрия положения туловища	Q14 – Движение коньковой ноги
	Q15 – Движение свободной ноги
	Q16 – Протяженность свободной ноги
	Q17 – Туловище
	Q18 – Руки
	Q19 – Фокус глаз и головы

\*09 удалено т.к. на видеопленке нет звука.

## Сравнительная модель развития

Для определения связи между техническим мастерством или кинематическими переменными и восприятием успешного исполнения приземления на льду была разработана сравнительная модель, которая сравнивает качества мастерства в биомеханическом измерении с субъективной оценкой мастерства со стороны судей (Рис. 2). Данная модель стремится приравнять переменные в рамках четырех категорий биомеханически важных идентификаторов к пяти категориям перцептуально важных идентификаторов правильного приземления. Рис. 2 иллюстрирует связь между конкретными биомеханическими переменными, показанными в документе по судейским критериям (Q1-Q19) как показано в таблице 1.

### Статистический анализ

Статистические стратегии включают в себя расчет совокупного балла для оценки относительного вклада, отобранных переменных параметров исполнения в рамках каждой категории в общий рейтинг исполнения в рамках и между данными по биомеханическому и судейскому восприятию. Были выполнены корреляции порядка ранжирования Спирмана для оценки степени взаимосвязи пяти категорий восприятия прыжков судьями. Корреляции порядка ранжирования были также выполнены для определения связи между биомеханической оценкой механики приземления и судейским восприятием мастерства приземления. Значение было установлено на уровне альфа 0.05.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Биомеханический анализ

Как показано на рисунке 1 были рассчитаны независимые кинематические переменные и затем подразделены на четыре категории для профилирования биомеханических характеристик приземлений на льду для дальнейшего анализа. Были выявлены значимые корреля-

ции между связанными категориями, указывающими на степень их внутренней связи ( $r = 0.661-0.818, p < 0.01$ ).

### Перцептуальный анализ

Корреляции порядка ранжирования Спирмана выявили сильные корреляции среди судейских баллов. Первый анализ указывает на то, что общее восприятие исполнения приземления сильно коррелировало с каждой из четырех категорий важных идентификаторов ( $r = 0.95-0.99, p < 0.01$ ). Далее, имеется высокая степень связи среди каждой из категорий (Общее исполнение приземления, техника исполнения, качество границы приземления, геометрия границы приземления и геометрия позиции туловища) ( $r = 0.94-0.99, p < 0.01$ ). Эти результаты

указывают на две вещи: во-первых, имеется сильная связь или последовательность рейтингов восприятия судей при анализе десяти изолированных прыжков и, во-вторых, имеется сильная связь или последовательность между восприятием судьями категорий параметров прыжков и их общим восприятием исполнения приземлений.

### Корреляция между биомеханическими и перцептуальными данными

Затем были выполнены корреляции порядка ранжирования Спирмана между биомеханическим и перцептуальным средним баллов для определения связи между биомеханической оценкой механики приземления и судейским восприятием уровня мастерства в приземлении (Рис. 2); однако, никаких статистически значимых связей не было найдено. Корреляции составляют только малую и незначительную погрешность, что является следствием малого объема оцененных образцов. Ввиду слабой связи между биомеханической оценкой качества и судейским восприятием мы решили детализировать биомеханический рейтинг для дальнейшего анализа.

### Вторичный сравнительный анализ

Приземления на льду можно описать как сложную серию зависимых движений. В силу статистического анализа данные рассматривались как изолированные независимые сущности. Была предпринята попытка идентифицировать связь или ассоциацию между изолированными категориями механических переменных и счетом, представляющим восприятие выступления. С учетом зависимости категорий переменных нулевая связь не представляется чем-то удивительным. Ввиду незначимых результатов, как указано выше, был предпринят вторичный анализ. При расчете биомеханических измерений было отобрано шесть не зависимых, но дополнительных биомеханических переменных в качестве ключевых показателей исполнения. В таблице 2 представлена схема переменных и описание их относительных оптимальных характеристик.

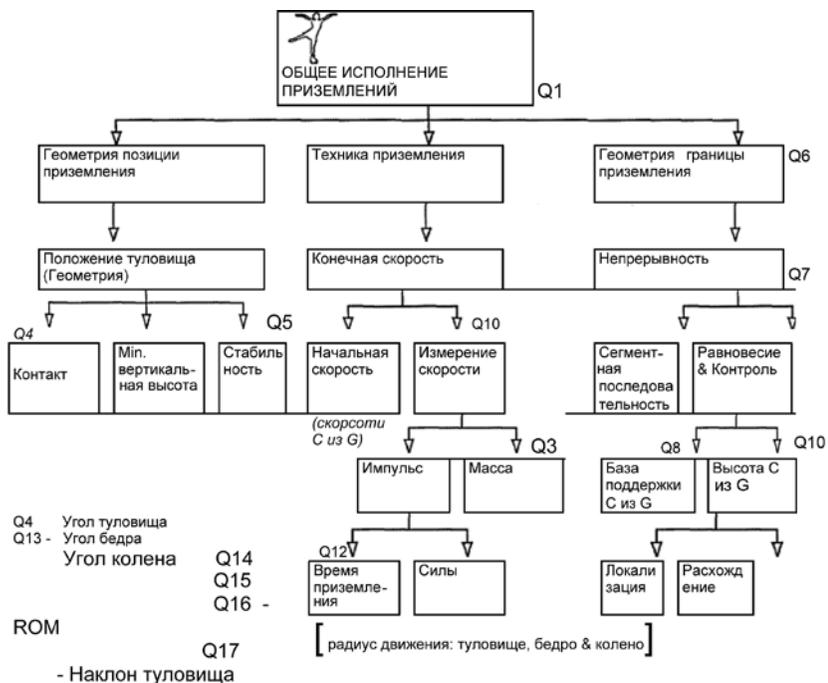


Рис. 2. Комбинированная модель связи между перцептуальной и биомеханическими переменными

Используя эти характеристики, данные были перегруппированы для нахождения биомеханических стратегий для спортсменов при выполнении приземлений на льду. Например, радиус и последовательность движения различных суставов как голеностоп, колено и бедро описывает технику, которая использовалась на фазе приземления прыжка для распыления сил при приземлении, одновременно соблюдая равновесие, контроль и эстетические требования спорта. Были определены три стратегии приземления в качестве главных из 10 проанализированных выступлений. Стратегии приземления определялись как последовательность движения, а также радиус движения суставов нижних конечностей – голеностопа, колена и бедра. Рис. 3 иллюстрирует оценку углов. Стратегия для бедра заключалась главным образом в движении бедра с небольшим движением поддерживающей ноги при приземлении. Стратегия для колена заключалась в большем движении, чем у бедра в момент приземления. И, наконец, общая стратегия состояла в том, чтобы сохранить примерно равное движение бедра и колена при приземлении. Были проведены корреляции ПEARсона по смешанным моментам между стратегией приземления и общей судейской оценкой за выступление. Данный анализ выявил значимые корреляции ( $r = 0.818-0.944$ ,  $p < 0.01$ ). Приземления при прыжках, когда четко нельзя было сказать, что они используют одну из трех стратегий, не оценивались судьями положительно из-за малого числа проанализированных прыжков ( $n=10$ ).

Подводя итоги можно сказать, что, были выявлены значительные корреляции в рамках четырех категорий биомеханических переменных (рис. 1) и в рамках пяти категорий перцептуальных переменных (таблица 1). Эти результаты предполагают, что наличие сильной связи между связанными категориями в рамках биомеханической и перцептуальной категорий. Далее, сильная согласованность наблюдалась между рейтингами восприятия 42 судей изолированного прыжкового выступления. По-видимому, стратегия, а не изолированные механические переменные стали более важным фактором в определении связи между механикой прыжкового приземления и восприятием выступления. В дополнение к этому, шесть биомеханических измерений, идентифицируемые как ключевые индикаторы выступления, внесли значимый вклад в формулирование определения стратегии приземления (таблица 2).

Таблица 2. Шесть ключевых биомеханических индикаторов при приземлениях на лед

Биомеханические/ключевые индикаторы выступлений	Описание оптимальных условий
1. Равновесие и контроль	Около нулевые значения указывают на стабильное контролируемое приземление при небольшом раскачивании тела за базу поддержки (нога поддержки).
2. Изменение вертикальной скорости центра массы (CoM)	Для обеспечения оптимальной безопасности и контроля изменение вертикальной скорости должно быть значительным во время фазы приземления. Однако, данное значение также должно сопровождаться большим временем приземления.
3. Стабильность	Распыление инерции приземления используя бедро позволяет соблюсти меньшее отклонение для свободной ноги и что эстетически более привлекательно.
4. Время связки	Для безопасного приземления инерцию необходимо распылить на более длительный период.
5. Временная последовательность колена и бедра	Данная переменная связана с сегментальной последовательностью. Чем меньше времени, тем большая одновременность движения в сравнении с более последовательной стратегией за больший промежуток времени.
6. Геометрия позиции туловища во время приземления	Угловые положения, в связи с геометрией тела на фазе приземления при прыжке (см.рис. 3).

### Обсуждение результатов

Объективно говоря, стало нормой, что судейство фигурного катания подвергается испытаниям во время соревнований. Обвинения в предвзятости приходят из различных источников. Ясно, что фигурное катание должно искать средства борьбы с судейской предвзятостью и фиксацией результатов, если этому виду спорта суждено оставаться жизнеспособным и зрелищным видом соревнований для спортсменов и зрителей.

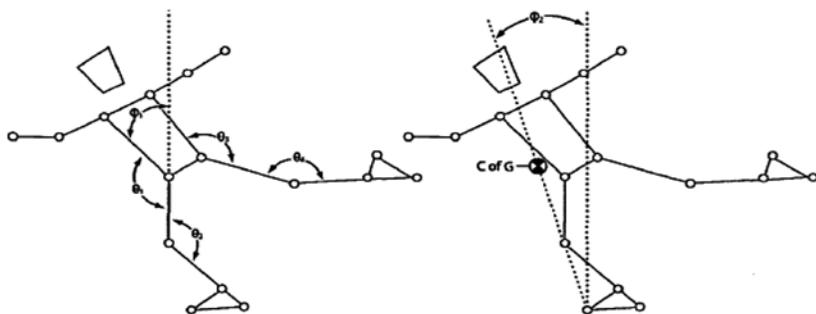


Рис. 3. Геометрия положения тела (угловые положения):

*sp* – угол сегмента тела; *92* – угол наклона тела:

*9* – угол ноги/бедра поддержки; *Q2* – угол ноги/колена поддержки;

*03* – угол свободной ноги/бедра; *94* – угол свободной ноги/колена

Один метод разрешения состоит в анализе судейских баллов. Однако, такая оценка крайне сложна ввиду отсутствия приемлемого «золотого стандарта» для сравнения баллов. Поэтому, и было проведено данное исследование, чтобы поддержать представление о том, что прыжковые приземления, оцениваемые субъективно находятся в согласии с эмпирическими оценками тех же выступлений. Биомеханический анализ обеспечил эмпирический «золотой стандарт», которым можно сравнивать перцептуальные данные. Хотя прыжки на льду не оцениваются в отрыве от соревнований, прыжки, как элемент программы, оцениваются на наличие технической ошибки.

Согласно традиционной системе присвоения баллов, основанной на 6.0, выступающий спортсмен начинает от базового счета, из которого делаются вычитания за ошибки в исполнении. Общие вычитания делаются за технические нарушения, нарушения формы или позиции. Главные вычитания также делаются за нарушения при приземлении, в том числе падения или приземление на обе ноги. В данном исследовании все прыжки, отобранные для оценки и анализа, исполнялись правильно или без основных технических нарушений, т.е. без касания или падения. В результате данного исследования значимые корреляции в рамках перцептуальных данных обеспечили поддержку в вопросе последовательности субъективных оценок,

выполненных аккредитованными судьями при анализе прыжкового приземления. Хотя биомеханический анализ приземления не выявил сильной зависимости какой-то отдельной категории механических переменных от оценки судей, поставленной за приземления, были выявлены оптимальные стратегии правильных приземлений на льду. Использованные три стратегии были в согласии с судейской перцепцией выполнения приземления.

## Вывод

Таким образом, была получена поддержка представлению о том, что стратегии, выполняемые во время правильного прыжкового приземления субъективно оцененные (судейское восприятие) находятся в согласии с эмпирическими (биомеханическими) оценками тех же выступлений.

## Литература

1. Abdel-Aziz, Y. I., and Karara, H. M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. In Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry (pp. 1-18), Falls Church: American Society of Photogrammetry.
2. Clauser, C. E., McConville J. T., and Young J. W. (1969). Weight, volume, and center of mass of segments of the human body. AMRL Technical Report 69-70. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio: Aerospace Medical Research Laboratories.
3. Fink, H. (1993). Men's National Team Newsletter. Ottawa: The Canadian Gymnastics Federation.
4. Lake, M., and Lafortune, M. (1998). Mechanical inputs related to perception of lower extremity impact loading severity. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 30, 136-143.
5. Milani, T. L., Hennig, E. M., and Lafortune, M. A. (1997). Perceptual and biomechanical variables for running in identical shoe constructions with varying midsole hardness. *Clinical Biomechanics*, 12, 294-300.
6. Stergiou, N. (ed.) (2004). *Innovative Analyses of Human Movement*. Champaign: Human Kinetics.

## СРАВНЕНИЕ ДВОЙНОЙ И ТРОЙНОЙ ПОДКРУТОК В ПАРНОМ ФИГУРНОМ КАТАНИИ

---

*Deborah L. King, Sarah L. Smith, Michele R. Brown,  
Jean L. McCrory, Barry A. Muncasy, Gary L. Scheirman*

Фигуристам в парном катании необходимо выполнять комплексные броски и подъемы, например, тройную подкрутку. Тройная подкрутка выделяет медалистов из других участников соревнования. Тройная подкрутка является настолько сложным элементом программы, что во время Олимпийских игр 2002 года 3 из 20 соревнующихся пар не пытались выполнить тройную подкрутку во время их свободного катания, а сделали свой выбор в пользу двойной подкрутки. Правила, на самом деле, требуют от пары выполнения только двойного подъема во время свободной программы; в короткой программе двойная подкрутка является необходимым элементом.

Насколько известно авторам, существует только одно исследование, касающееся биомеханики тройных подкруток или других парных прыжков. Smith и его соавторы (Smith and King, 2004; Smith et al., 2003) представили дескриптивный биомеханический анализ тройных подкруток трех групп победителей на Олимпийских играх в Солт-лейк сити в 2002 году. Исходя из того, что тройная подкрутка должна отличать призеров соревнований от остальных участников, они проанализировали 10 лучших спортсменов, разделенных на три группы: призеры (медалисты); 4, 5, 6 и 7 места; и 8, 9 и 10 места. Они пришли к выводу, что призеры соревнований (медалисты) были более эффективны в развитии вертикальной скорости и обеспечения достаточной высоты, и, следовательно, времени пребывания в воздухе, чтобы завершить три оборота. Группа медалистов имела самые низкие скорости подхода. Можно предположить, что высота не может положительно коррелировать со скоростью подхода, что и наблюдается в других видах спорта в, таких как прыжки в высоту, гимнастика с шес-

том и прыжки с шестом (Adamezewski and Perl, 1997; Alexander, 1990; Dapena and Chung, 1988; Dapena, McDonald, and Cappaert, 1990; Greig and Yeadon, 2000; McGinnis, 1991; Takei, 1990; Takei, Blucker, Dunn, Myers, and Fortney, 2006; Takei, Dunn, and Blucker, 2003; Takei and Kim, 1990).

Некоторые исследователи косвенно указали на взаимосвязь скорости подхода и увеличение вертикальной скорости при взлете во время выполнения прыжков в фигурном катании. Aleshinsky (1986) описал явление «передачи» горизонтального импульса в вертикальный импульс в качестве поступательного движения от остановившегося конька, когда тело вращается на коньках. Albert и Miller (1996) рассмотрели тангенциальные и радиальные компоненты скорости при исполнении акселей и определили, что тангенциальное движение происходит до «тормозящего» действия лезвия.

Тангенциальной составляющей скорости является скорость, которой фигурист обладает из-за вращения вперед и вверх на лезвии. Радиальный компонент скорости представляет собой скорость, которой фигурист обладает при передвижении и «растяжении» толчковой ноги и удлинения расстояния между центром массы и ноги. Albert и Miller (1996) установили, что до и во время фазового перехода тангенциальные скорости фигуристов были горизонтальными, а не вертикальными, направленными таким образом, что фигуристы поворачивались вокруг продольной оси лезвия ботинка.

Оба эти исследования, однако, были проведены при исследовании технического элемента аксель, который является прямым реберным прыжком. Более реалистично ожидать больший компонент вертикальной скорости, исходящей от тангенциального движения фигуристов при «зубцовом» прыжке, который использует движение опорного типа маховой ноги. В этих навыках фигуристы могут почувствовать преимущества скоростных не центровых сокращений таких, как сгибание колена, в то время как центр массы фигуриста уже движется вверх. Этот метод похож на метод, используемый прыгунами в высоту, которые демонстрируют отрицательную радиальную скорость центра масс (центр масс движется к стопе) одновременно с положительной (направленной вверх) вертикальной скоростью во время первой половины взлетной фазы. Во второй половине взлет-

ной фазы, радиальная и вертикальная скорости центра масс положительны, но величина радиальной скорости меньше, чем вертикальной скорости.

Соответственно, прыгуны производят вертикальную скорость при максимизации мышечной силы сначала не центровыми, а затем медленными концентрическими действиями мышц во время фазы полета прыжка (Dapena и Chung, 1988).

Если тангенциальное движение эффективно способствует вертикальной скорости при «зубцовом» прыжке, при прочих равных условиях, более быстрая контролируемая скорость подхода теоретически может быть выгодной для создания больших вертикальных скоростей. King и его коллеги (King, Smith, Higginson, Munkasy, и Scheirman, 2004) сообщили об отсутствии значимых различий в скорости подхода между четверным и тройным тулупами, но, к сожалению, было опубликовано мало дополнительных данных о «зубцовых» прыжках. Кроме того, опубликованные исследования о биомеханике прыжков в фигурном катании обычно имели недостаточный размер выборки для проведения корреляционного или дискриминационного анализов, чтобы определить, коррелирует или различается скорость подхода со скоростью вертикального взлета.

Поскольку тройная подкрутка является «зубцовым» или опорным прыжком, при выполнении которого фигуристка врезается зубцами конька в лед и прыгает вверх, разумно предположить, что горизонтальная скорость подхода будет положительно коррелировать со скоростью вертикального взлета и свидетельствовать о превосходной производительности тройной подкрутки. Тем не менее, в то время как фигуристка прыгает вверх, партнер держит ее за талию, чтобы помочь ей в прыжке. Неизвестно в какой степени вертикальная скорость партнерши происходит от ее прыжка и жима по сравнению с подъемом партнера. Smith и его коллеги (Smith и King, 2004; Smith и др., 2003) сообщил, что максимальная вертикальная скорость фигуристок во время фазы подъема тройной подкрутки была в среднем на 24% выше, чем вертикальная скорость фигуристок при взлете.

Они не сообщают, в какой степени партнеры помогали фигуристам в увеличении вертикальной скорости перед взлетом, так как невозможно отделить источник ее ускорения, заключающийся в силах

ее толчка ото льда, от сил, которые она получает от партнера (при помощи видео анализа). На самом деле, обширный обзор литературы по биомеханике, рассматривающей подъемы и броски в таких видах деятельности, как танцы и черлидинг, не выявил, за исключением Smith и соавт. (2003) и Smith и King (2004), никаких научных публикаций, посвященных кинематическому или кинетическому анализу этих навыков.

Не имея почти никаких данных о тройных подкрутках или подобных прыжках в других видах спорта, проблематика данного исследования основывалась на теории и результатах исследований, посвященных прыжкам в фигурном катании. Фигуристы пытались выполнять одни и те же прыжки (лутц, аксель, тулуп) на одной и той же высоте, независимо от числа оборотов (один, два, три, четыре) (Albert and Miller, 1996; King, Arnold, and Smith, 1994; King et al., 2004). Главной отличительной чертой между одинарным, двойным и тройным прыжками было уменьшение момента инерции фигуриста относительно продольной оси и соответствующее увеличение угловой скорости (Albert and Miller, 1996; Aleshinsky, 1990). Отличительной чертой более квалифицированных фигуристов является высота прыжка (Albert and Miller, 1996; King et al., 1994, 2004).

Таким образом, цель исследования заключалась в определении технических характеристик двойной и тройной подкруток. В частности, целью данного исследования являлось описание и сравнение временных и кинематических характеристик двойной и тройной подкруток.

Кроме того, были предложены следующие три гипотезы: (1) максимальный рост фигуристки будет наиболее подходящим для выполнения тройной подкрутки, чем двойной, (2) средняя скорость вращения при тройной подкрутке больше, чем при двойной подкрутке, и (3) скорость захода на тройную подкрутку больше, чем на двойную.

### **Организация исследования**

Данные были собраны во время исполнения коротких парных программ и произвольных программ финала парного фигурного катания зимних Олимпийских игр 2002 года в Солт-Лейк-Сити и

финала Гран-при Международного союза конькобежцев 2003 года. Местом проведения соревнований по фигурному катанию во время Олимпийских игр 2002 года стала ледовая арена Солт-Лейк, Солт-Лейк-Сити, Юта, а во время финала Гран-при местом проведения соревнований был каток Colorado Springs World Arena, Колорадо-Спрингс. Основные характеристики фигуристов были получены из пресс-релизов. Средний возраст женщин и мужчин фигуристов составил  $23,5 \pm 2,6$  и  $27,4 \pm 2,8$  года, соответственно. Средняя масса тела женщин и мужчин фигуристов составила  $44,9 \pm 1,6$  и  $73,4 \pm 6,7$  кг, соответственно, их средний рост составлял  $1,56 \pm 0,05$  и  $1,83 \pm 0,04$  м, соответственно. Подобные процедуры сбора данных были использованы во время двух соревнований. Четыре высокоскоростные (120 кадров / сек) камеры Pulnix (модель ТМ-6701АН; Pulnix America, Саннивейл, Калифорния), оборудованные панорамированием и наклонным положением (Vicon, Сентениал), были использованы для записи всей произвольной и короткой программы. На Арене Солт-Лейк две камеры были размещены по обе стороны катка примерно на расстоянии 52м от центра льда, 26м от центра льда до конца катка, и 28 м над уровнем льда. На катке Колорадо-Спрингс камеры были аналогичной конфигурации, но располагались на расстоянии примерно 40 м от центра льда, 19м от центра льда до конца катка, и 10 м над уровнем льда. Две камеры на тех же сторонах катка были синхронизированы.

Каждый день во время тестирования выполнялась калибровка при помощи двух полюсов обследования длиной 4,88м, последовательно перемещавшихся в семь мест на льду. Комбинации от трех до семи полюсов, которые дали лучшие трехмерные реконструкции, были использованы для создания калибровок за каждый день сбора данных. Ошибки трехмерной реконструкции, определенные путем расчета среднеквадратичной разницы между фактическими и вычисленным расстоянием между льдом и маркировками границы, и полюсами, не включались в калибровку, в среднем  $0,023 \pm 0,016$  м на катке в Солт-Лейк-Сити и  $0,010 \pm 0,002$  на катке Колорадо-Спрингс.

На Олимпиаде 2002 года приняло участие 20 пар фигуристов, из которых 10 лучших были выбраны для анализа. Шесть пар приняли участие в финале Гран-при. Они все были отобраны для анализа.

Четыре пары, которые соревновались на Олимпийских играх, также участвовали в финале Гран-при. После рассмотрения видеозаписи, тройная подкрутка одной пары из финала Гран-при не была полностью зафиксирована на видеокассете, эта пара была удалена из набора данных. Кроме того, двойная подкрутка одной пары финала Гран-при, которая участвовала в Олимпийских играх и финале Гран-при, не была в полной мере зафиксирована, и была исключена из анализа. Было проанализировано четырнадцать двойных подкруток и пятнадцать тройных в исполнении 11 пар.

Только два из четырех видов камеры были использованы при анализе каждой подкрутки. Все видеоданные были оцифрованы, и была создана 19-пунктная модель фигуристки, состоящая из 11 сегментов: голова и шея, туловища, правая и левая руки, правое и левое предплечье и руки, правое и левое бедро, правая и левая нога, правая и левая стопа. Голова и шея относились к одному сегменту, как предплечье и рука. Трехмерные координаты были рассчитаны с помощью алгоритмов калибровки панорамирования и наклона (Motus v.8.0, Vicon). Данные о местоположении затем фильтровались с помощью низкочастотного фильтра Баттерворта с фильтрацией отключений, определенных автоматически при помощи оптимизации алгоритма с установленным ограничением 0,1 (Motus v.8.0, Vicon). Первые и вторые производные от каждого ориентира были визуальным образом осмотрены, а параметры фильтрации были скорректированы по мере необходимости.

Заключительные параметры фильтрации для всех ориентиров и всех координат колебались от 2 до 6 Гц. Центр масс тела определяли с помощью массовых характеристик инерции deLeva (1996). Средняя масса обуви, равная 2,9 кг, была использована для всех фигуристов. Местоположение центра масс обуви предположительно совпадало с центром масс стопы.

Восемь ключевых событий были определены для двойной подкрутки и девять для тройной (рис. 1).

Пять из этих событий были определены субъективно из видеоматериала, в то время как остальные четыре были определены объективно из данных (см. таблицу 1). Из этих событий, четыре этапа были определены: первый толчок (prop1), прыжок с зубцов, второй толчок (prop2), прыжок и освобождение от рук партнера; полет, освобождение

Таблица 1. Определение девяти событий подкрутки

Событие	Определение	Субъективно/ Объективно
Зубец (TP)	Первый кадр, где лезвие партнерши упирается в лед	Субъективно
Прыжок (TO)	Последний кадр, где лезвие партнерши остается на льду после зубцового прыжка	Субъективно
Максимальный шпагат (MaxSplit)	Максимальный угол шпагата	Объективно
Выпуск партнером (Ret)	Последний кадр, где рука партнера касается партнерши до того, как он ее выпускает	Субъективно
Первый оборот (Rev1)	Оборот в 360° при повороте бедра после выпуска	Объективно
Второй оборот (Rev2)	Оборот в 720° при повороте бедра после выпуска	Объективно
Третий оборот (Rev3)	Оборот в 1080° при повороте бедра после выпуска	Объективно
Прием	Первый кадр, где левая рука партнера (правая для вращений по часовой стрелке) касается партнерши после ее полета	Субъективно
Приземление (TD)	Первый кадр, где приземляющаяся нога партнерши касается льда	Субъективно

*Примечание:* поворот бедра был определен как угол от отрезка между правым и левым бедром партнерши, проецируемый на поперечной плоскости её тела. Последний оборот был определен как плоскость, перпендикулярная вектору от центра ее плеч к центру ее бедер. Rev1, Rev2 и rev3 были выявлены с точностью до 5° из 360° для всех фигуристов.

ние от рук партнера и прием партнерши; и снижение (lower), прием партнерши и приземление (рис. 1).



Зубцовый прыжок Толчок Макс. шпагат Выпуск Оборот1 Оборот2 Прием партнера Приземление

Рис. 1. Последовательность движений пары фигуристов (отмечена под каждой фотографией)

Были рассчитаны двадцать шесть кинематических переменных, описывающих позиции и скорости фигуристки, линейную и угловую, а также семь временных переменных (рис. 2). Скорость подхода (AppSpeed) была определена как величина горизонтальной скорости центра массы партнерши в направлении движения в момент зубцового прыжка.

Направление движения было определено как направление перемещения зубцов ботинка партнерши от прыжка до приземления. Вертикальные и горизонтальные скорости центра масс партнерши и угол результирующей скорости были определены на взлете ( $vv_{to}$ ,  $vh_{to}$ ,

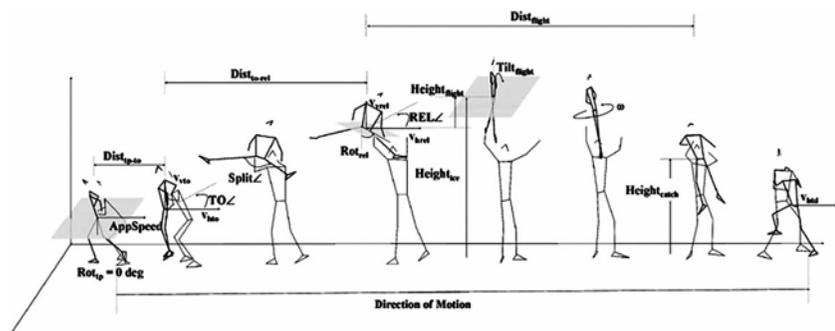


Рис. 2. Направление движения. Схематичное изображение тройной подкрутки с определением зависимых переменных, отмеченных визуально

угол  $TO$ ) и выпуска партнером ( $vv_{rel}$ ,  $vh_{rel}$ , угол  $Rel$ ); горизонтальная скорость была определена также для посадки ( $vh_{td}$ ). Выпуск партнером был определен как последний кадр, где одна из рук партнера касалась любой части партнерши (см. таблицу 1). Как правило, когда партнер выпускает партнершу, она все еще держится за предплечье партнера. Вертикальные скорости выпуска ( $vv_{rel}$ ), следовательно, не могут быть использованы для определения высоты выброса. Более того, хотя, несомненно, существует момент, когда партнер сначала находится в контакте со своей партнершей, а потом выпускает ее, точный момент, когда партнер перестает помогать партнерше, четко не определен и, следовательно, не может быть идентифицирован.

Максимальная вертикальная скорость центра масс партнерши в ходе второго этапа толчка ( $vv_{max}$ ) была определена, а затем процент дополнительной вертикальной скорости, приобретенной (или потерянной) во время второго этапа толчка, определялся как  $vv_{prop2} = 100 * (vv_{max} - vv_{to}) / vv_{to}$ . Скорость была рассчитана с позиции центра масс партнерши с использованием центрального метода разницы.

Длина пути определялась от прыжка до приземления ( $dist_{tp-to}$ ), положения зубца до прыжка ( $dist_{tp-to}$ ), прыжка до выпуска ( $dist_{to-rel}$ ), а во время полета ( $dist_{flight}$ ) от горизонтального положения центра массы партнерши в направлении движения. Максимальная высота фигуристки над поверхностью льда ( $height_{ice}$ ) рассчитывалась как максимальное вертикальное положение центра массы партнерши по отношению к поверхности льда.  $Height_{flight}$ , представляющий собой высоту, достигнутую в ходе полета, была рассчитана как вертикальное смещение центра массы партнерши между выпуском партнером и максимальной высотой. Дополнительная переменная,  $height_{catch}$ , была рассчитана как вертикальное положение центра масс партнерши при приеме. Максимальный угол шпагата (угол шпагата) был рассчитан как максимальный угол отведения между отрезком от правой лодыжки до центра правого тазобедренного сустава и отрезком между левой лодыжкой до центре левого тазобедренного сустава фигуристки.

Вращательное положение партнерши определялось по отрезку между ее правым и левым центром тазобедренного сустава, проеци-

руемому на поперечной плоскости ее тела, который был определен как плоскость, перпендикулярная к вектору от центра плеч к центру бедер. Ориентация бедра при зубцовом прыжке определяла начальную или нулевую позицию вращения подкрутки для каждой парной команды. С этой позиции определялось угловое (вращательное) положение при выпуске партнером (rotrel). Кроме того, было рассчитано общее число оборотов, совершенных во время полета (rotflight). Трудно было определить точность измерения смещения вращения бедра, но с учетом ошибки реконструкции, точность примерно составила  $6^\circ$ .

Средние скорости вращения для первого ( $v_1$ ), второго ( $v_2$ ), и третьего ( $v_3$ ) оборотов, при необходимости, и в течение всей фазы полета (vflight) затем были определены с использованием поворотного смещения и временных данных от соответствующих событий. Если окончательный поворот был неполным, средняя скорость вращения части окончательного вращения, выполненная до приема, была зафиксирована. Так как идентификация конца каждого оборота была сделана только при  $5^\circ$  из  $360^\circ$ , фактическое угловое перемещение бедра между соответствующими событиями было использовано для определения угловой скорости по сравнению с использованием  $360^\circ$  для каждого оборота. Таким образом, точность расчета угловой скорости, которая зависит от точности измерения смещение бедра и времени выполнения каждого оборота, была оценена в  $0,07$  об / сек.

Наконец, был рассчитан средний наклон длинной оси партнерши (определяется осью, проходящей через центр бедер к центру плеч) по отношению к горизонтальной плоскости (поверхности льда) во время среднего оборота, выполненного в ходе этапа полета (tiltflight). Для тройной подкрутки средний оборот была определен как второй оборот в подкрутке. Так как в двойной подкрутке не выполняется два полных оборота, средний оборот был определен как  $3/4$  часть от оборота, начиная от второй половины первого оборота и заканчивая в первой четверти второго оборота подкрутки.

Было определено абсолютное время четырех фаз – первый толчок (timeprop1), второй толчок (timeprop2), полет (timeflight) и снижение (timelower), – а также время всех навыков. Момент завершения каждого оборота во время полета был заявлен как процент от общего вре-

мени полета путем вычитания времени выпуска партнером от времени завершения первого оборота, времени завершения первого оборота от времени окончания второго оборота, и времени завершения второго оборота от времени завершения третьего оборота, и деления на время полета. Если последний оборот не был завершен до приема партнерши, было заявлено значение, равное  $100 + \%$ . Все события были определены до ближайшего кадра. Было иногда трудно провести различие между двумя кадрами выпуска и приема. В этих случаях делался выбор между двумя кадрами; первый из двух кадров был выбран в качестве выпуска, а второй из двух кадров был выбран в качестве приема. Точность временных переменных составила не более  $1 / 100$  секунды.

Полученные данные о парах с несколькими двойными или тройными подкрутками во время Олимпийских игр 2002 года и финалов Гран-при 2003 года были усреднены перед последующим анализом. Средние значения и стандартные отклонения были рассчитаны для каждой переменной для двойной и тройной подкруток всех команд. Парные критерии Стьюдента были использованы для проверки трех гипотез на уровень значимости  $0,05$ . Все статические тесты осуществлялись с использованием Excel (Microsoft Office Excel 2003).

## Результаты

Результаты представлены в трех секциях: временная, линейная кинематика и вращательная кинематика. Визуальный обзор кинематических характеристик двойной и тройной подкруток изображен на рисунке 3.

## Временные результаты

Обзор временных переменных приведен в таблице 2. Общее время двойной и тройной подкруток колебалось от  $1,24$  до  $1,59$  сек. Три пары выполнили двойную и тройную подкрутку, общее время которых отличалось на  $0,1$  сек друг от друга. Семь пар выполнили тройную подкрутку, продолжительнее на  $0,1$  с, чем двойная подкрутка. Только одна пара выполнила тройную подкрутку меньше на  $0,1$  с, чем двойная подкрутка.

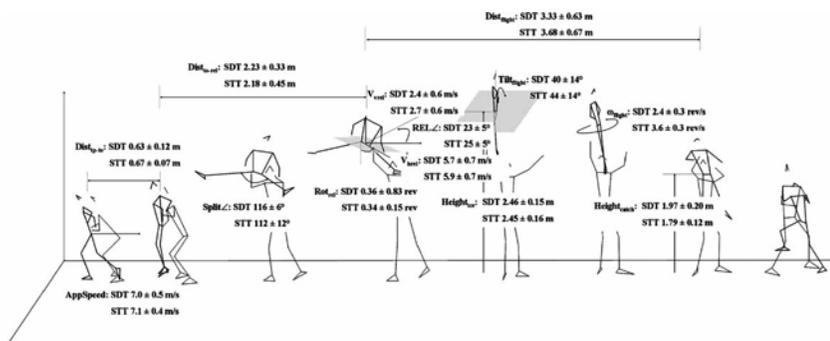


Рис. 3. Средние значения для выбранных переменных ( $\pm$  стандартное отклонение) представлены на контурном изображении

Комбинированные пропульсивные фазы занимали в среднем  $0,44 \pm 0,07$  с, второй толчок в три раза длительнее, чем первый толчок. Фигуристки были в воздухе от  $0,52$  до  $0,77$  с. Хотя разница времени фазы полета между тройной подкруткой и двойной одкруткой варьировалась среди пар, среднее время полета тройной подкрутки было лишь на  $0,04 \pm 0,07$  сек дольше. У одной пары время полета в тройной подкрутке составило на  $0,1$  с меньше, чем в двойной подкрутке, а у двух пар время полета было на  $0,1$  с дольше в двойной подкрутке. Несмотря на изменчивость времени полета в двойной и тройной подкрутках, существовала положительная тенденция между временем полета в двойной и тройной подкрутках. Без учета одной пары, у которых время полета в тройной подкрутке было на  $0,1$  с меньше, чем в двойной подкрутке, корреляция между временем полета в двойной и тройной подкрутках составила  $r = 0,82$  ( $R^2 = 0,67.$ ); корреляция составила  $r = 0,57$  ( $R^2 = 0,33$ ) при учете данной пары. На время полета влияют как вертикальная скорость выпуска, так и высота при выпуске и приеме. Поздний или низкий прием в тройной подкрутке добавил  $0,07 \pm 0,04$  с.

### Линейные кинематические результаты

Обзор линейных кинематических переменных представлен в таблице 3. Дистанция двойного и тройного подъемов составила  $7,11$  и

$9,59$  м, соответственно, от зубца до посадки; не существовало последовательной разницы в пройденном расстоянии от зубца до посадки в двойной и тройной подкрутках. Пройденное расстояние во время полета при тройной подкрутке было в среднем больше на  $0,35 \pm 0,62$  м. Как показывает большое стандартное отклонение, существовала большая изменчивость в пройденном парами расстоянии во время полета при двойной и тройной подкрутках.

Три пары преодолели более короткое расстояние при выполнении тройной подкрутки. Расстояние, пройденное во время полета, как правило, составляло  $40\%$  от общего расстояния между «зубцовым» положением конька и приземлением.

Таблица 2. Обзор временных результатов для двойной подкрутки (SDT) и тройной подкрутки (STT)

Переменная	SDT			STT		
	Среднее значение $\pm$ стандартное отклонение	min.	max.	Среднее значение $\pm$ стандартное отклонение	min.	max.
Общее время (с)	$1.46 \pm 0.11$	1.40	1.59	$1.39 \pm 0.08$	1.24	1.50
Time prop1 (s)	$0.10 \pm 0.02$	0.07	0.14	$0.11 \pm 0.04$	0.06	0.21
Timeprop2 (s)	$0.34 \pm 0.08$	0.18	0.44	$0.34 \pm 0.05$	0.26	0.42
Timelower (s)	$0.41 \pm 0.09$	0.30	0.57	$0.28 \pm 0.11$	0.19	0.41
Timeflight(s)	$0.60 \pm 0.07$	0.52	0.69	$0.64 \pm 0.08$	0.55	0.77
Timerev1 (%)	$68 \pm 8$	51	85	$46 \pm 6$	34	52
Timerev2 (%)	$100 + a$	$100 + a$	$100 + a$	$86 \pm 9$	71	$100 + a$
Timerev3 (%)		—		$100 + a$	$100 + a$	$100 + a$

Примечание: a – конечные оборот был завершен после приема, процент полета не был записан. Timerprop1 – время первой фазы толчка, Timerprop2 – время второй фазы толчка, Timelower – время снижения от приема до приземления, Timeflight – время фазы полета, Timerev1 – время первого оборота, Timerev2 – время второго оборота, Timerev3 – время третьего оборота.

Таблица 3. Обзор линейной кинематики; результаты двойной подкрутки (SDT) и тройной подкрутки (STT)

Переменная	SDT			STT		
	Среднее значение $\pm$ стандартное отклонение	min.	max.	Среднее значение $\pm$ стандартное отклонение	min.	max.
Dist tp-td(m)	8.55 $\pm$ 0.58	7.72	9.59	8.34 $\pm$ 0.79	7.11	9.31
Dist tp-to (m)	0.63 $\pm$ 0.12	0.43	0.80	0.67 $\pm$ 0.07	0.54	0.79
Dist tp-rel (m)	2.23 $\pm$ 0.33	1.70	2.89	2.18 $\pm$ 0.45	1.26	2.87
Dist flight(m)	3.34 $\pm$ 0.63	2.48	4.76	3.68 $\pm$ 0.67	2.86	4.84
AppSpeed (m/s)	7.0 $\pm$ 0.5	6.1	7.8	7.1 $\pm$ 0.4	6.6	7.8
Vhto (m/s)	6.6 $\pm$ 0.4	6.1	7.3	6.9 $\pm$ 0.4	6.1	7.7
Vhrel (m/s)	5.7 $\pm$ 0.7	4.7	7.3	5.9 $\pm$ 0.7	5.0	7.3
Vhland (m/s)	6.1 $\pm$ 0.5	5.4	7.1	6.2 $\pm$ 0.9	5.0	8.1
Vvto (m/s)	2.8 $\pm$ 0.4	2.0	3.3	2.9 $\pm$ 0.5	1.9	3.6
Vvrel (m/s)	2.4 $\pm$ 0.6	1.3	3.2	2.7 $\pm$ 0.6	1.8	3.7
Vvmax (m/s)	3.2 $\pm$ 0.4	2.5	3.6	3.4 $\pm$ 0.4	3.0	4.1
uprop2 (%)	19 $\pm$ 24	1	80	20 $\pm$ 18	1	66
TO (°)	23 $\pm$ 4	15	27	23 $\pm$ 4	16	27
REL (°)	23 $\pm$ 5	13	30	25 $\pm$ 5	19	32
Height ice (m)	2.46 $\pm$ 0.15	2.25	2.74	2.45 $\pm$ 0.16	2.20	2.74
Height flight, (m)	0.45 $\pm$ 0.19	0.20	0.92	0.40 $\pm$ 0.14	0.24	0.68
Height catch (m)	1.97 $\pm$ 0.20	1.49	2.20	1.79 $\pm$ 0.12	1.62	2.03

*Примечание:* Disttp-td – горизонтальное пройденное расстояние от «зубцового» прыжка до приземления, Disttp-to – горизонтальное пройденное расстояние от «зубцового» положения конька до прыжка, Distto-rel – горизонтальное пройденное расстояние от прыжка до выпуска, Distflight – горизонтальное пройденное расстояние во время фазы полета, AppSpeed – скорость подхода при «зубцовом» прыжке, vhto – горизонтальная скорость при прыжке, vhrel – горизонтальная скорость при выпуске, vhland – горизонтальная скорость при приземлении, vvto – вертикальная скорость при прыжке, vvrel – вертикальная скорость при выпуске, vvmax – максимальная вертикальная скорость, vprop2 – процент вертикальной скорости, достигнутый во время второй фазы толчка, TO – угол прыжка, REL – угол выпуска, Heightice – максимальная высота партнерши надо льдом, Heightflight – высота, достигнутая во время полета партнерши, Heightcatch – высота партнерши надо льдом перед приемом.

Скорость подхода, определяемая как горизонтальная скорость при зубцовом прыжке, колебалась от 6,1 до 7,8 м/с и 6,6 до 7,8 м/с для двойной и тройной подкруток, соответственно. После «зубцового» прыжка горизонтальная скорость постепенно снижалась через пропульсивные фазы.

При приземлении, после приема, горизонтальная скорость фигуристки имела тенденцию к увеличению во время фазы снижения, хотя горизонтальные скорости были по-прежнему в среднем на 15% меньше, чем при «зубцовом» прыжке. Скорость приближения значительно не различалась ( $p=0,570$ ) между двойной подкруткой ( $7,0 \pm 0,5$  м/с) и тройной подкруткой ( $7,1 \pm 0,4$  м/с). Хотя не наблюдалось значимых различий в скорости подхода, горизонтальная скорость прыжка возросла в среднем на 0,3 м/с от двойной подкрутки к тройной.

Вертикальные скорости в ключевых событиях были одинаковы при двойной и тройной подкрутках. Вертикальная скорость при прыжке составляла от 1,9 до 3,6 м/с, а максимальная вертикальная скорость колебалась от 2,5 до 4,1 м/с. Процент скорости, накопленный в ходе второго толчка, варьировал у пар в пределах от 1 до 45%. Тем не менее, процент скорости, накопленный в ходе второго толчка был более «последовательным», и только одна пара имела разницу более чем на 10% в скорости, накопленной в ходе второго толчка при двойной подкрутке, чем при тройной. Из-за относительно большой горизонтальной скорости в сочетании с вышеупомянутыми вертикальными скоростями, угол прыжка и угол выпуска были малыми, от 15 до 27° и от 13 до 32° при двойной и тройной подкрутках, соответственно.

Максимальная высота прыжка над поверхностью льда значительно не различалась ( $p=0,856$ ) между двойной подкруткой ( $2,46 \pm 0,15$  м) и тройной ( $2,45 \pm 0,16$  м). Максимальная высота тройной подкрутки одной пары была на 0,1 м больше, чем двойной подкрутки, максимальная высота двух тройных подкруток была, по крайней мере, на 0,1 м меньше, чем двойных подкруток. Высота остальных восьми тройных подкруток была в пределах 0,1 м от максимальной высоты двойной подкрутки. Высота, накопленная в ходе полета, варьировала от 0,20 до 0,92 м в двойных подкрутках и от 0,24 до 0,68 м в тройных подкрутках. За исключением одной пары, у которой была самая высокая двойная подкрутка и самая низкая тройная подкрутка, до-

стигнутая во время полета высота была небольшой, но положительно коррелировала между высотами двойной и тройной подкруток ( $r=0,57$ ;  $R^2=0,33$ ).

Высота полета партнерши при приеме была меньше чем при тройной подкрутке ( $1,79 \pm 0,12$  м), чем при двойной подкрутке ( $1,97 \pm 0,20$  м), что могло бы объяснить непропорциональное увеличение времени полета при заданной высоте тройной подкрутки. Для двойной подкрутки измеряемое время полета ( $0,60 \pm 0,07$  с) почти точно соответствует «предсказанной» высоте, накопленной в ходе полета ( $0,61$  с) с использованием уравнения равноускоренного движения и вертикальной скорости в момент последнего контакта. Однако, при поздних и низких приемах во время тройной подкрутки, измеряемое время полета ( $0,64 \pm 0,08$  с) составляет на  $0,07 \pm 0,04$  с больше, чем «предсказываемое» время полета ( $0,57$  с).

### Результаты вращательной кинематики

Обзор вращательных переменных приведен в таблице 4. Максимальный шпагат у фигуристок во время второго толчка был одинаковым при двойной и тройной подкрутке, в среднем  $114 \pm 9^\circ$ . К концу второго толчка фигуристки выполняют в среднем  $0,4 \pm 0,1$  оборота при измерении с позиций «зубцового» прыжка. Таким образом, фигуристка, как правило, смотрит вперед при выпуске партнером. С этих позиций фигуристка выполняет в среднем  $1,45 \pm 0,13$  и  $2,31 \pm 0,20$  оборота во время полета при двойной и тройной подкрутках, соответственно.

Угол наклона фигуристок в воздухе варьировался от почти горизонтального ( $5^\circ$ ) к гораздо более вертикальному ( $64^\circ$ ). Средний угол наклона фигуристок при двойной и тройной подкрутках составил  $42 \pm 14^\circ$  относительно плоскости льда.

Во время полета средняя скорость вращения была значительно выше ( $p = 0,000$ ) при тройной подкрутке ( $3,6 \pm 0,3$  об / с), чем при двойной подкрутке ( $2,4 \pm 0,3$  об / с). При двойной подкрутке угловая скорость была в среднем постоянной от первого оборота до второго оборота. Тем не менее, у двух пар угловая скорость во время второго оборота была на  $0,5$  об / с больше, чем во время первого оборота.

Таблица 4. Обзор результатов вращательной кинематики двойной подкрутки (SDT) и тройной подкрутки (STT)

Переменная	SDT			STT		
	Среднее значение $\pm$ стандартное отклонение	min.	max.	Среднее значение $\pm$ стандартное отклонение	min.	max.
Split ( $^\circ$ )	$116 \pm 6$	108	128	$112 \pm 12$	92	128
Rotrel (rev)	$0.36 \pm 0.83$	0.26	0.51	$0.34 \pm 0.15$	0.72	0.57
Rotflight (rev)	$1.45 \pm 0.13$	1.19	1.72	$2.31 \pm 0.20$	1.96	2.71
Tiltflight O	$40 + 14$	5	56	$44 + 14$	12	64
$\omega$ 1 (rev/s)	$2.5 \pm 0.3$	1.9	2.9	$3.5 \pm 0.7$	2.6	5.0
$\omega$ 2 (rev/s)	$2.5 \pm 0.6$	0.9	3.1	$4.1 \pm 0.4$	3.3	4.6
$\omega$ 3 (rev/s)	—	—	—	$3.4 \pm 0.5$	2.6	4.0
$\omega$ flight (rev/s)	$2.4 \pm 0.3$	1.7	2.8	$3.6 \pm 0.3$	3.1	4.2

*Примечание:* Split – максимальный угол шпагата, Rotrel – вращательная позиция при выпуске, Rotflight – выполненные вращения во время полета, Tiltflight – средний угол наклона,  $\omega$ 1 – средняя угловая скорость во время первого оборота,  $\omega$ 2 – средняя угловая скорость во время второго оборота,  $\omega$ 3 – средняя угловая скорость во время третьего оборота,  $\omega$  flight – средняя угловая скорость во время полета.

У двух других пар угловая скорость во время второго оборота была на  $0,5$  об / с меньше, чем во время первого оборота. При тройной подкрутке второй оборот, как правило, был быстрее, увеличенный в среднем на  $0,6 \pm 0,9$  об / с по сравнению с первым оборотом, а затем сниженный на  $0,8 \pm 0,8$  об / с во время финального оборота. Изменения вращательных показателей при тройной подкрутке (первый оборот – второй оборот – третий поворот) варьировались среди пар; у одной пары была самая высокая скорость вращения во время первого оборота, затем скорость вращения постепенно снижалась во время второго и третьего оборотов.

## Обсуждение и выводы

Существуют три основные стратегии, которые фигуристы могут использовать для добавления дополнительного вращения при переходе от двойной подкрутки к тройной: (1) увеличение времени в воздухе, (2) увеличение скорости вращения или (3) увеличение времени в воздухе и скорости вращения. Увеличение времени в воздухе может возникнуть в результате увеличенной высотой и/или поздним приемом. Увеличение скорости вращения может возникнуть в результате увеличения углового момента и/или уменьшения момента инерции относительно оси вращения во время полета.

Результаты этого исследования позволяют предположить, что фигуристы в основном используют увеличение скорости вращения, чтобы получить дополнительные вращения. Тем не менее, степень, в которой эта стратегия была использована, варьировали среди пар. В частности, три из одиннадцати пар, в дополнение к увеличению скорости вращения, имели время полета при тройной подкрутке на 15% больше, чем при двойной подкрутке (таблица 5), предполагая, что они используют комбинированную стратегию увеличения времени и скорости вращения. Семь пар увеличили вращательные показатели лишь с незначительными различиями по времени в воздухе между двойной и тройной подкрутками (таблица 5). Небольшие различия во времени полета сказались бы на и количестве завершенных вращений менее чем на одну пятую часть оборота. Одна пара увеличила скорость вращения с уменьшением времени полета при тройной подкрутке на 15% по сравнению с двойной подкруткой (таблица 5).

Семь пар с незначительными различиями во времени полета и дополнительные пары с большим уменьшением времени полета от двойной к тройной подкрутке были классифицированы как полагающиеся исключительно на увеличение скорости вращения. Ни одна пара не использовала стратегию увеличения времени в воздухе, предполагая, что эта стратегия не может быть целесообразной для выполнения тройной подкрутки.

Так как 72% пар в этом исследовании использовали стратегию увеличения скорости вращения можно предположить, что это один из вариантов правильного выполнения этого элемента программы.

Таблица 5. Значения выбранных кинематических переменных для двойной подкрутки (SDT) и тройной подкрутки (STT) каждой подкрутки

Пара		App-Speed (m/s)	vvrel (m/s)	Heightice (m)	vflight (rev/s)	Rotflight (rev)	Heightcatch (m)	Time flight (s)
1	SDT	7.0	1.3	2.48	1.7	1.19	1.49	0.69
	STT	7.8	2.3	2.39	4.2	2.43	1.74	0.58
2	SDT	7.4	2.9	2.74	2.3	1.53	1.99	0.67
	STT	6.9	3.7	2.74	3.1	2.41	1.71	0.77
3	SDT	7.2	2.5	2.59	2.6	1.48	2.20	0.57
	STT	6.8	3.1	2.67	3.5	2.42	1.88	0.68
4	SDT	6.9	3.2	2.50	2.0	1.30	2.05	0.63
	SIT	7.0	3.6	2.59	3.3	2.46	1.86	0.75
5	SDT	7.5	2.1	2.25	2.6	1.43	1.80	0.54
	SIT	7.8	2.7	2.50	3.9	2.26	2.03	0.58
6	SDT	6.4	1.6	2.35	2.6	1.45	2.09	0.55
	SIT	7.0	1.8	2.35	3.8	2.11	1.79	0.55
7	SDT	6.7	2.9	2.52	2.3	1.43	2.02	0.61
	STT	6.6	2.7	2.33	3.6	2.20	1.73	0.62
8	SDT	7.8	2.8	2.55	2.6	1.50	2.19	0.58
	STT	7.2	2.1	2.20	3.8	2.25	1.62	0.59
9	SDT	7.6	2.2	2.30	2.6	1.50	1.98	0.58
	SIT	7.2	2.3	2.43	3.3	1.96	1.89	0.58
10	SDT	6.6	2.5	2.26	2.7	1.42	1.97	0.52
	SIT	6.9	2.5	2.28	3.7	2.25	1.66	0.60
11	SOT	6.1	2.7	2.55	2.5	1.72	1.93	0.67
	SIT	7.3	2.8	2.50	3.7	2.71	1.79	0.73
Mean (± s)	SDT	7.0 (±0.5)	2.4 (±0.6)	2.46 (±0.15)	2.4 (±0.3)	1.45 (±0.13)	1.97 (±0.20)	0.60 (±0.07)
	SIT	7.1 (±0.4)	2.7 (±0.6)	2.45 (±0.16)	3.6 (±0.3)	2.31 (±0.20)	1.79 (±0.12)	0.64 (± 0.08)

Примечание: AppSpeed – скорость подхода при зубцовом прыжке, vvrel – вертикальная скорость при выпуске, Heightice – максимальная высота партнерши надо льдом, vflight – средняя угловая скорость во время полета, Rotflight – выполненные обороты во время полета, Heightcatch – высота партнерши надо льдом во время приема, Timeflight – время фазы полета.

Тем не менее, результаты также показывают, что сочетание увеличения скорости вращения с увеличением времени полета, связанное в первую очередь с поздним и низким приемом, может быть успешно использовано для увеличения оборотов.

### Скорость вращения

Для увеличения скорости вращения, независимо от выбранной стратегии, фигуристка должна получить больший угловой момент относительно оси вращения до выпуска, получить меньший момент инерции относительно ее оси вращения, или объединить оба момента. Ни угловой момент, ни момент инерции не были измерены в данном исследовании. Хотя может оказаться невозможным отделить крутящий момент, действующий на фигуристку, в качестве воздействия фигуристки на лед и в качестве помощи партнера, принятие во внимания факта, что фигуристы создают больший угловой момент во время тройной подкрутки, чем двойной подкрутки, будет полезным и для тренеров. Вполне вероятно, что увеличение скорости вращения за счет уменьшения момента инерции фигуристки может быть проще и надежнее, так как создание большего углового момента во время первой и второй пропульсивных фаз может изменить время или координату между партнерами. Однако без дальнейшего исследования способ повышения скорости вращения является чисто гипотетическим; будущие исследования должны быть направлены на изучение углового момента и момента инерции фигуристки, чтобы определить стратегии, используемые для увеличения скорости вращения.

Интересно, что ни одна скорость вращения в этом исследовании не была столь же высокой, как скорость, наблюдаемая у одиночных фигуристов при тройных прыжках (King, Smith, и Casey, 2001, 2002).

При поэтапном изучении вращения фигуристок обороты в подкрутках начинаются уже при зубцовом прыжке, и на момент выпуска фигуристки завершают  $0,4 \pm 0,1$  оборотов (таблица 4). Таким образом, фигуристка выполняет лишь 1,6 и 2,6 оборотов в воздухе в двойной и тройной подкрутках, соответственно. Завершение почти половины оборота во время пропульсивной фазы прыжка похоже на техники, используемые в нескольких одиночных прыжках (например, тулуп),

в которых фигуристы выполняют почти 0,5 оборотов от зубцового положения на льду до взлета.

Во время полета при двойной подкрутке фигуристка приближается к завершению заключительного оборота, заканчивающегося в среднем на одной пятой оборота, однако при тройной подкрутке фигуристки завершают только  $2,3 \pm 0,2$  оборота в воздухе. Внимательное изучение положения фигуристки при приеме выявило значительные различия между парами. Пять из одиннадцати пар имели не выполненными более  $90^\circ$ , если партнеры смотрели друг на друга, а одна пара выполнила дополнительный поворот в  $14^\circ$ .

Число оборотов, выполненных каждой парой во время полета, приведено в таблице 2. Как и в одиночном катании, тройная подкрутка не имела дополнительного оборота по сравнению с двойной подкруткой.

Высота и время в воздухе.

Три пары, которые использовали комбинированные стратегии увеличения времени полета и увеличения скорости вращения для выполнения тройной подкрутки, по сравнению с двойной подкруткой, увеличили свое время полета при низких приемах. Общее вертикальное расстояние составило в среднем на  $0,37 \pm 0,10$  м больше при тройных подкрутках,  $0,33 \pm 0,14$  м этого расстояния было преодолено при низком приеме. Одна пара преодолела невероятное вертикальное расстояние в  $0,46$  м во время полета, что соответствовало  $0,12$  лишним секундам времени полета, и было эквивалентно примерно одной трети дополнительного оборота с учетом их скорости вращения. Две другие группы, использующие комбинированную стратегию, достигли вертикального расстояния в воздухе от  $0,33$  до  $0,39$  м, что соответствует  $0,09$ – $0,11$  дополнительным секундам полетного времени и приблизительно одной четверти дополнительного оборота с учетом их вращательных скоростей.

Некоторые пары, которые были определены как использующие только стратегию увеличения скорости вращения, выполняли поздние или низкие приемы в тройных подкрутках. Шесть из восьми пар имели более низкие приемы, в результате чего среднее уменьшение в высоте приема составило  $0,31 \pm 0,15$  м. Тем не менее, низкие приемы не были в сочетании с соответствующими вертикальными скоростями при выпуске при создании значимого увеличения времени полета.

Возможным объяснением в целом незначительных изменений во времени полета в тройной подкрутке и двойной одкрутке является тот факт, что пары пытаются достичь максимальной высоты при двойной и тройной подкрутках. Таким образом, единственным оставшимся способом

увеличения оборотов стал поздний прием и / или увеличение скорости вращения. Возможно также, что легче регулировать скорость вращения за счет уменьшения момента инерции фигуристки во время полета, чем за счет управления вертикальной скоростью, что может привести к увеличению затрат времени или несоответствию между партнерами.

Интересно, что три пары, выбравшие комбинированную стратегию, выполнили тройную подкрутку с наиболее полными поворотами, измеренными углами поворота фигуристки при приеме.

В частности, парам не хватало только  $26^\circ$ ,  $73^\circ$  и  $83^\circ$  до полного поворота при приеме.

В противоположность этому, только 37% пар, выбравших стратегию увеличения вращательной скорости, были в пределах одной четверти поворота на стадии завершения. Сочетание увеличения времени полета с увеличением скорости вращения может быть лучшей стратегией для завершения дополнительного оборота при тройной подкрутке.

### **Увеличение вертикальной скорости**

Величина вертикальной скорости прыжка при подкрутках имела нижние показатели вертикальной скорости, рассчитанной от высоты прыжка или времени в воздухе, как сообщалось в публикациях, посвященных прыжкам фигуристок (Albert и Miller, 1996; Aleshinsky, 1986, 1987; King и Smith, 2005). Однако максимальная вертикальная скорость, достигнутая во второй пропульсивной фазы, была одинакова с вертикальной скоростью прыжка, наблюдаемой у высококвалифицированных фигуристов, выполняющих тройные и четверные тулупы (King и др., 2004), а также одинарные, двойные и тройные аксели (King и др., 1994). Не было обнаружено никаких данных в литературе о парных бросках, с которыми можно было

бы сравнить максимальную вертикальную скорость подкруток, но есть основания предполагать, что большая вертикальная скорость прыжка и максимальная вертикальная скорость могут быть получены благодаря помощи партнера при подъеме. Однако, увеличение вертикальной скорости не может произойти за счет скорости вращения, времени и техники, но должно быть достигнуто при сохранении контроля над всеми ключевыми факторами. Пары, которые способны использовать толчок партнерши ото льда в сочетании с подъемом партнером, могут извлечь выгоду от повышения вертикальной скорости, что приведет к увеличению времени полета без необходимости позднего приема. Учитывая, что тройная подкрутка в этом исследовании, как правило, была выполнена не полностью, возможность максимально увеличить вертикальную скорость или без ущерба для скорости вращения или с увеличением вращательной скорости позволила бы выполнять полные обороты при тройной подкрутке, обеспечивая более чистое и более выразительное выполнение тройной подкрутки.

### **Скорость подхода**

Было высказано предположение, что скорость подхода увеличится от двойной подкрутки до тройной, однако, не было никаких существенных различий в скорости подхода двойной и тройной подкрутками. Важность величины горизонтальной скорости в прыжках в первую очередь была связана с вертикальной скоростью при «переносе» горизонтального импульса в вертикальный (Albert и Miller, 1996; Aleshinsky, 1987; King, 1997) и использованием не центровых мышечных действий (Darpa и Chung, 1988). В данном исследовании не наблюдалось никакой связи между скоростью подхода и максимальной вертикальной скоростью, но это не означает, что скорость подхода не имеет значения. Поддержание горизонтального импульса таким образом, что приземление выполняется гладко, имеет решающее значение для выполнения подкруток. По сравнению с одиночными прыжками, фигуристы, выполняющие подкрутки, передвигались быстрее и поддерживали высокие показатели импульса. Горизонтальные скорости для тройного лутца и четверного тулупа составили

5,8 м / с (King и др., 2001) и 5,4 м / с (King и др., 2002), соответственно, произошло падение горизонтальной скорости на 41% от прыжка до приземления при выполнении тройного лутца и на 63% при выполнении четверного тулупа. Напротив, горизонтальная скорость подкруток уменьшилась только на 14% от прыжка до приземления (таблица 3). Таким образом, тренеры парных фигуристов должны быть обеспокоены развитием у фигуристов достаточно высокой скорости подхода, а не потерей парой горизонтального импульса при правильном выполнении подкруток.

### Заключение

Все пары опирались на высокие скорости вращения для выполнения тройной подкрутки по сравнению с двойной, три из одиннадцати пар использовали комбинированную стратегию повышенной скорости вращения и увеличенного времени полета. Увеличение времени полета произошло преимущественно благодаря позднему приему, а не увеличению вертикальной скорости при выпуске фигуристки партнером. Вертикальные скорости у парных фигуристок при взлете были одинаковы с теми, которые наблюдались в прыжках высококвалифицированных фигуристов в одиночном катании, но вращательные скорости были меньше. Все одиннадцать пар не выполняли полностью финальный оборот при тройной одкрутке.

### Литература

1. Adamezewski, H., and Perlt, B. (1997). Run-up velocities of female and male pole vaulting and some technical aspects of women's pole vault. *New Studies in Athletics*, 1, 63–76.
2. Albert, W. J., and Miller, D. I. (1996). Take-off characteristics of single and double axel figure skating jumps. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 72–87.
3. Aleshinsky, S. Y. (1986). What biomechanics can do for figure skating: Part two. *Skating*, 63 (10), 11–15.
4. Aleshinsky, S. (1987). A biomechanical report of USFSA/USOC/PSGA junior elite camp participants. *Professional Skater*, 18 (1), 24–28.
5. Aleshinsky, S. (1990). Biomechanics explores differences in Boitano's axels. *American Skating World*, 10 (5), 12–13, 21.
6. Alexander, R. M. (1990). Optimum take-off techniques for high and long jumps. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 329, 3–10.
7. Dapena, J., and Chung, C. S. (1988). Vertical and radial motions of the body during the take-off phase of high jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20, 290–302.
8. Dapena, J., McDonald, C., and Cappaert, J. (1990). A regression analysis of high jumping technique. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6, 246–261.
9. deLeva, P. (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*, 29, 1223–1230.
10. Greig, M. P., and Yeadon, M. R. (2000). The influence of touchdown parameters on the performance of a high jumper. *Journal of Applied Biomechanics*, 16, 367–378.
11. King, D. L. (1997). A biomechanical analysis of the axel: Critical parameters for successful jumps. *Professional Skater*, 28 (1), 10–12.
12. King, D. L., Arnold, A. S., and Smith, S. L. (1994). A kinematic comparison of single, double, and triple axels. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 51–60.
13. King, D. L., and Smith, S. L. (2005). What's important in analyzing figure skating jumps? *Professional Skater*, 36 (5), 12–13.
14. King, D. L., Smith, S. L., and Casey, K. (2001). How'd they do that triple lutz? Part I. *Skating*, 78 (12), 48–49.

15. King, D. L., Smith, S. L., and Casey, K. (2002). How'd they do that toe-loop? Part II. *Skating*, 79 (3), 62–63, 76.
16. King, D., Smith, S., Higginson, B., Munkasy, B., and Scheirman, G. (2004). Characteristics of triple and quadruple figure skating jumps performed during the Salt Lake City 2002 Winter Olympics. *Sport Biomechanics*, 3, 109–123.
17. McGinnis, P. M. (1991). Biomechanics and pole vaulting: Run fast and hold high. In *Proceedings for the 15th Annual American Society of Biomechanics Meeting* (pp. 16–17). Tempe: American Society of Biomechanics.
18. Smith, S. L., and King, D. L. (2004). How'd they do that split triple twist? *Professional Skater*, 35 (6), 20–21, 29.
19. Smith, S. L., King, D. L., Brown, M. R., Higginson, B. K., Scheirman, G. L., and Muncasy, B. A. (2003). Biomechanical characteristics of split triple twists of pair figure skaters. In *Proceedings of 7 th International Olympic Committee World Congress on Sports Science* (pp. 000–000). Athens: International Olympic Committee.
20. Takei, Y. (1990). Techniques used by elite women gymnasts performing the handspring vault at the 1987 Pan American Games. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6, 29–55.
21. Takei, Y., Blucker, E. P., Dunn, J. H., Myers, S. A., and Fortney, V. L. (1996). A three-dimensional analysis of the men's compulsory vault performed at the 1992 Olympic Games. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 237–257.
22. Takei, Y., Dunn, J. H., and Blucker, E. (2003). Techniques used in high scoring and low scoring «Roche» vaults performed by elite male gymnasts. *Sports Biomechanics*, 2, 163–176.
23. Takei, Y., and Kim, E. J. (1990). Techniques used in performing the handspring and salto forward tucked vault at the 1988 Olympics Games. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6, 111–138.

## ПОЛОВОЕ СОЗРЕВАНИЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ САМОВОСПРИЯТИЕ КОНКУРЕНТНОСПОСОБНЫХ ФИГУРИСТОК

---

*Monisma, Eva V.*

Эстетические виды спорта, как фигурное катание, характеризуются ранним началом спортивной карьеры, дети начинают тренироваться с 5-ти летнего возраста, а специализация проходит в возрасте 8 лет. Одновременное развитие таланта и тела под надзором судей, тренеров, спортивных представителей может быть очень напряженным для маленьких девочек. Увеличение физических размеров рассматривается как предрасположенность к биомеханике и возможному компоненту презентации в спорте. В одном исследовании рассматривалась связь между пубертатным периодом и психологическими характеристиками молодых спортсменов. В одном из исследований, касающемся фигуристок, обнаружили, что менархеальный статус (начало менструации) имел большее определяющее значение, чем возраст при объяснении различий в их самовосприятии. Для фигуристок, достигших менархеального возраста, характерна заниженная оценка собственного достоинства и физическая самооценка, они менее удовлетворены своей внешностью, чем фигуристки, не достигшие менархеального возраста. Удивительно, но условия катания (например, катание с партнером) не имели значительной связи с самовосприятием. Было рекомендовано дальнейшее изучение воздействия полового созревания и условий катания на физическое самовосприятие с эстетической и спортивной точек зрения (Monisma, Malina, и Feltz, 2006).

Пубертатный период является переходным моментом между детством и зрелым возрастом, состояние часто объясняется биологическими изменениями, например скачок роста в подростковом возрасте, появление вторичных половых признаков, созревание половой

системы. Пиковая скорость роста (PHV), время менархе являются обычными индикаторами физического созревания, при котором также могут быть ярко выражены другие параметры тела. Средний возраст наступления менархе 12,8 лет (SD = 1.0), пиковая скорость роста происходит за год до наступления менархе (Malina, Bouchard, & Bag-Or, 2004). Интересно, что развитие зрелых физических характеристик различается в зависимости от наступления половой зрелости. Например, те, у кого менархе наступило раньше (< 11 лет) имеют склонность к меньшему зрелому росту по сравнению со стандартными показателями, к более широким плечам по сравнению с бедрами, что проявляется в V-образном телосложении, и к атлетическому типу телосложения. Те, кто достиг периода менархе позже, обычно выше по сравнению со стандартными показателями, имеют большую длину ног по сравнению со стандартными показателями, а также имеют астенический тип телосложения (Malina et др., 2004).

В общем, эти физические характеристики, являющиеся наследственными, связаны с выбором вида спорта, так как они могут предоставить преимущества в выполнении навыков, характерных для какого-либо вида деятельности. Крупный размер тела является преимуществом в американском футболе, баскетболе, плавании, маленький размер – в эстетических видах спорта, как фигурное катание, погружение и гимнастика. Возраст менархе в данных эстетических видах спорта означает позднее половое созревание и связано с такими физическими характеристиками, как процентиля роста и веса на уровне или ниже среднего показателя контрольных данных США (Malina 1998). Внутриспортивные вариации также очевидны. Распространенность эктоморфии и низкая эктоморфия отличают элитных фигуристок, специализирующихся на парных дисциплинах (танцы на льду, парное катание) от одиночных фигуристок (Monsma & Malina, 2005). Биологические характеристики, связанные с поздним созреванием, такие как небольшой рост и пропорциональность, связаны с селективным критерием субъективной оценки по двум причинам. Во-первых, пропорциональность способствует моменту инерции, необходимому для вращательных навыков в воздухе, позволяющих спортсменам выполнять большее число оборотов в прыжках и вращения (Niinimaa, 1982). Во-вторых, худоба и пропорцио-

нальность находятся на одной линии с социокультурными идеалами стройности, присущими тренерам, судьям и другим представителям спортивного руководства (McGarry, 2005). Сталкивающиеся с этими идеалами спортсмены стремятся к тому, чтобы казаться более эстетически приятными и получить возможную выгоду для артистической импресии музыки и тем программы (Ellis, 2004). Напротив, характеристики худобы при поздней половозрелости могут быть вредными, поскольку репродуктивное функционирование (аменорея) более чувствительно к энергетическому дисбалансу (Ellison, 1990).

Влияние вариации времени полового созревания на физическое самовосприятие до сих пор неизвестно. Будет разумно предположить, что индивидуальные вариации в физическом самовосприятии могут быть параллельными вариациям времени полового созревания в качестве соматических характеристик. Выявление личных восприятий, возникающих в период времени полового созревания, может быть полезным индикатором возможных бихевиоральных факторов риска, например расстройства пищевого поведения, обычного явления в контексте субъективного развития.

Данное исследование углубило результаты исследования Monsma и др. (2006), в котором рассматривалась предсказуемая способность менархеального статуса и спортивных условий в фигурном катании при объяснении различия самовосприятия. Настоящее исследование преследует три цели. Во-первых, в соответствии с Dorn и др. (2006), главной целью было определить, занижается ли физическое самовосприятие в период полового созревания среди фигуристок постменархеального возраста, представленных в работе Monsma и др. (2006). В соответствии с отмеченной систематическими вариациями в физических характеристиках, фигуристки с поздним половым созреванием должны были демонстрировать более благоприятное самовосприятие по сравнению с фигуристками с ранним половым созреванием, потому что их физические характеристики были ближе к биомеханическим и эстетическим идеалам. Поскольку условия катания не способствовали твердо установленной связи в работе Monsma и др. (2006), вторая цель заключалась в рассмотрении условий катания независимо от других источников воздействия на самовосприятие методом определения, различают ли подшкалы Опросника фи-

зического самовосприятия (PSDQ) одиночных фигуристов и парных фигуристов. Подшкалы PSDQ были также использованы на всех соревновательных уровнях. Среди всей образцовой группы фигуристы с высоким соревновательным уровнем и одиночные фигуристы должны были продемонстрировать более благоприятное самовосприятие по сравнению с фигуристами с низким соревновательным уровнем и парными фигуристами.

### Организация проведения исследований

В исследовании принимали участие 121 конкурентоспособные фигуристки, представляющие одиночное катание ( $n = 80$ ), танцы на льду ( $n = 23$ ) и парное катание ( $n = 18$ ) конкурирующие на уровне тест-потока ( $n = 34$ ), пред-элиты ( $n = 51$ ), или элиты ( $n = 36$ ). Конкурирующие на уровне тест-потока фигуристы – это те фигуристы, которые участвуют в программах высокого уровня, но не соревнуются на национальном или субнациональном уровнях. В «пред-элиту» входили фигуристы, участвовавшие в, по крайней мере, одном национальном квалификационном соревновании Ассоциации фигурного катания США или Канады на уровне новичка. К высококвалифицированным относились соревнующиеся юниоры и взрослые фигуристы. Возраст участников располагался в диапазоне 11,5 – 21,3 лет (средний возраст – 15,85 лет,  $SD = 2.26$ ).

### Измерительная техника

Опросник физического самовосприятия. PSDQ (Marsh, Richards, Johnson, Roche, & Tremayne, 1994) представлял собой своеобразный инструмент, состоящий из 70 пунктов, предназначенный измерить 11 подшкал, включающих глобальные и конкретные признаки. Двумя глобальными компонентами являются уважение (в основном гордость собой) и глобальная физическая самооценка (позитивное восприятие физического себя). Девятью конкретными компонентами являются: внешность (приятная внешность, красивое лицо), содержание жира в организме (не иметь избыточный вес, быть не слишком толстым), здоровье (редко болеть, быстрое излечение при болезни),

спортивная компетенция (быть компетентным в спорте иметь хорошие спортивные навыки), сила (быть сильным, иметь сильное, мускулистое тело), выносливость (долго не уставать во время упражнений), гибкость (изгибать и поворачивать тело в различных направлениях), координация (без проблем выполнять движения), физическая активность (регулярно заниматься физической деятельностью). Пункты состоят из декларативных утверждений, оцениваемых по 6-балльной шкале, где 1 = ложь, 2 = в основном ложь, 3 = больше ложь, чем правда, 4 = больше правда, чем ложь, 5 = в основном правда, 6 = правда. В каждой подшкале было 6 пунктов, за исключением подшкал здоровья и уважения, в которых было 8 пунктов. Таким образом, возможный диапазон баллов на уровне пунктов (то есть совокупность вопросов/число пунктов) является 1,0-6,0 и 1,0-8,0 соответственно. Многие из пунктов (21) сформулированы отрицательно и требовали обратного кодирования. Пункты подходят как для взрослых, так и для молодежи в возрасте 12-18 лет (см. Marsh и др., 1994). Внутренняя согласованность подшкал составляла от 0,81 до 0,94.

### Интервью о менархе

Исследователь спрашивал каждую участницу, достигла ли она менархе и, если да, в каком возрасте. Для соотнесения менархеального возраста к ближайшему кварталу года во время собеседования были использованы подсказки, такие как время года, класс в школе, близость ко дню рождения. На основе полученных данных, постменархеальные фигуристы ( $n = 90$ ) были распределены по времени созревания (раннее: менархе [меньше или равно] 11,8 лет,  $n = 2$ , среднее: менархе 11,9-13,8 лет,  $n = 66$ ; или позднее: менархе [больше или равно] 13,8 лет,  $n = 20$ ). Две фигуристки с ранним менархе были исключены из исследования.

### Методика проведения

После одобрения Комиссией по биомедицинской этике и судебской коллегии по фигурному катанию, спортсмены и/или их родители были привлечены для исследования. Все участники и/или их родите-

ли дали согласие на информационную встречу. Комплект документов был вручен с просьбой заполнить и вернуть его в течение 1 месяца. Комплект включал в себя форму анкетных данных, историю обучения и PSDQ. Все данные были собраны во время соответствующего пика активности и/или соревновательных сезонов.

### Анализ данных

Распределения нескольких переменных указали на необходимость преобразований для уменьшения числа отклонившихся баллов. Глобальная физическая самооценка, внешний вид и уважение показали умеренные отрицательные отклонения; были использованы рефлексорные и квадратичные преобразования. Содержание жира в организме имело отрицательное отклонение, было использовано квадратичное преобразование (Tabachnick & Fidell, 1996). Поэтапный анализ дискриминантной функции проводился с целью определить, какие переменные физического самовосприятия разделяют: (а) фигуристов со средним и поздним половым созреванием, (б) одиночных фигуристов и парных фигуристов, и (в) тест-потока, «пред-элиты» и высококвалифицированных фигуристов. Критерий Шапиро-Уилка был использован для определения сокращенного набора предикторов состава группы для каждого анализа. Эффективность дискриминантной функции оценивали с помощью равных вероятностей, метода, который классифицирует участников при помощи дискриминирующих переменных. В дополнение к 11 подшкалам PSDQ, в анализ была включена подшкала возраста для учета широкого спектра, представленного в выборке. Модель Коэна была использована для расчета величины эффекта.

### Результаты

#### Анализ дискриминантной функции

Менархеальное время. Среди постменархеальных фигуристов ( $n=88$ ) 66 были со средним половым созреванием и 22 с поздним половым созреванием. Средними точками группы были  $-0,249$  и  $0,810$ ,  $[\chi^2] = 16,02$ ,  $p < 0,001$ . К дискриминирующим переменным

относились: возраст, выносливость и здоровье, безошибочно распредившие 79,8% фигуристов. Фигуристы с поздним созреванием были старше и сообщили о более высокой выносливости, но меньших показателях здоровья, чем у фигуристов со средним созреванием со средней величиной эффекта (модель Коэна =  $0,52 - 0,67$ ).

*Условия катания.* В исследовании приняли участие 78 одиночных и 41 парных фигуристов. Средними точками группы одиночных фигуристов были  $-0,256$ ,  $0,813$  у группы парных фигуристов,  $[\chi^2] = 16,01$ ,  $p < 0,001$ . Здоровье, внешность, спортивная компетенция и выносливость были дискриминирующими переменными, распредившими 79,2% участников. У одиночных фигуристов были отмечены более высокие показатели здоровья и спортивной компетенции, чем у парных фигуристов. У парных фигуристов были зафиксированы большие показатели внешности и выносливости, чем у одиночных фигуристов. Величина эффекта была низкой для внешности и выносливости и средней для спортивной компетенции и здоровья.

*Уровень способностей.* Выборка состояла из 33 тест-потоковых фигуристов, 50 «пред-элитных» фигуристов и 36 высококвалифицированных фигуристов. Средними точками группы были  $-0,382$ ,  $-0,420$  и  $1,001$ , соответственно,  $[\chi^2] = 43,76$ ,  $p < 0,001$ . Двумя дискриминирующими переменными были возраст и физическая активность, безошибочно распредившие 51,2% участников. Высококвалифицированные фигуристы были старше «пред-элитных» (модель Коэна =  $1,24$ ) и тест-потоковых фигуристов (модель Коэна =  $1,07$ ) и сообщили самые высокие оценки физической активности (модель Коэна =  $0,71$  и  $1,11$ , соответственно).

«Пред-элитные» фигуристы сообщили о более высоких показателях физической активности, чем тест-потоковые фигуристы (модель Коэна =  $0,27$ ), которые были старше «пред-элитных» фигуристов (модель Коэна =  $0,26$ ).

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

**ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ СПОРТСМЕНОВ  
ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ  
В ФИГУРНОМ КАТАНИИ**

*Сборник информационных материалов*

Подписано в печать 25.12.2011. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Гарнитура NewtonC. Печать офсетная.  
Усл.п.л. 3,5. Тираж 200. Заказ

ООО «ТВТ Дивизион»  
e-mail: sportbooks@mail.ru

Отпечатано в ООО «Типография «САРМА».  
г. Подольск, ул. Правды, д.30