

# ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА СПОРТА ВЫСШИХ ДОСТИЖЕНИЙ

## ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПОРТСМЕНОВ ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ В ПРЫЖКАХ НА ЛЫЖАХ С ТРАМПЛИНА (по материалам зарубежных исследований)

**М.В. АРАНСОН, В.Д. КРЯЖЕВ,  
ФГБУ ФНЦ ВНИИФК, г. Москва**

### **Аннотация**

Целью настоящего исследования является определение современных тенденций повышения эффективности выполнения различных фаз прыжка на лыжах с трамплина по анализу научной литературы. Выявлено, что в ходе выполнения фазы разгона основной проблемой является достижение максимальной скорости за счет принятия аэродинамически оптимальной позы для снижения лобового сопротивления. В фазе отталкивания спортсмену необходимо достичь величины вертикальной скорости, равной 2,05 м/с и выше, и обеспечить направленный вперед вращательный момент. Эффективное выполнение этой фазы связано с рациональной силовой подготовкой и системой спортивного питания, обеспечивающими повышение прыгучести на фоне снижения массы тела в соревновательном сезоне. Решение проблемы точной имитации отталкивания в ходе выполнения тренировочных занятий осуществляется за счет применения средств биомеханического контроля. В фазе раннего полета, которая длится в среднем 0,77 с, проблемой является своевременное принятие положения тела и лыж, соответствующего оптимальной биомеханической модели. В фазе устойчивого полета спортсмену необходимо обеспечить наилучшее соотношение подъемной силы и силы сопротивления. В фазе подготовки к приземлению, которая длится около 0,47 с, необходимо принять правильное положение лыж и произвести выравнивание корпуса. Эффективность этих действий определяется величиной реакции опоры в момент контакта с поверхностью, которая не должна превышать 2,0 Н/кг. Решение проблем выполнения рациональных движений в фазах прыжка с трамплина реализуется на основе использования средств регистрации спортивных движений в реальном масштабе времени, экспериментов в аэродинамической трубе и компьютерного моделирования.

**Ключевые слова:** прыжки на лыжах с трамплина, спортсмены высшей квалификации, подготовка, техника.

## PROBLEMS OF ELITE ATHLETES TRAINING IN SKI JUMPING (by the materials of foreign studies)

**M. V. ARANSON, V. D. KRYAZHEV,  
VNIIFK, Moscow city**

### **Abstract**

The purpose of this study is to determine current trends in improving the efficiency of various phases of ski jumping by analysis of scientific literature. It was revealed that during the acceleration phase, the main problem is to achieve maximum speed by adopting aerodynamically optimal posture, which provided a decrease in drag. In the repulsion phase, the athlete needs to achieve a vertical speed of 2.05 m/s or more and provide a forward torque. The effective implementation of this phase is associated with rational strength training and a sports nutrition system that provides an increase in jumping ability against the background of a decrease in body weight in the competitive season. The solution to the problem of accurate imitation of repulsion during the implementation of training sessions is carried out through the use of biomechanical control means. In the early flight phase, which lasts an average of 0.77 s, the problem is the timely adoption of the position of the body and skis, corresponding to the optimal biomechanical model. In the phase of stable flight, the athlete needs to provide the best ratio of lift and drag. In the landing preparation phase, which lasts about 0.47 s, it is necessary to take the correct position of the skis and align the body. The effectiveness of these actions is determined by the value of the reaction of the support at the moment of contact with the surface, which should not exceed 2.0 N/kg. The solution to the problems of performing rational movements in the phases of a ski jump is implemented on the basis of the use of means for registering sports movements in real time, experiments in a wind tunnel and computer simulation.

**Keywords:** ski jumping, elite athletes, training, technique.



## Введение

Прыжки на лыжах с трамплина – популярный зимний вид спорта, олимпийская история которого начинается с 1924 года. Специалисты разделяют прыжок с трамплина на четыре основные фазы: разгон, отталкивание, полет и посадка, где фаза полета подразделяется еще на три фазы: ранний полет, стабильный полет и подготовка к посадке [13].

В ходе разгона прыгун с трамплина стремится развить максимально возможную скорость [5], которая создает наилучшие условия для отталкивания, при которых формируются начальные предпосылки для полета, влияющие на дальность прыжка [6, 12]. Ранняя фаза полета начинается с того момента, когда прыгун с трамплина находится в воздухе, и продолжается до достижения устойчивого полета. Целью ранней фазы полета являются принятие спортсменом необходимой позы и достижение стабильного полета как можно быстрее с минимальной потерей скорости [2]. В фазе стабильного полета (скольжения) прыгун с трамплина сохраняет довольно постоянную позу [13, 14]. Здесь аэродинамические силы оказывают большое влияние, и спортсмен стремится достичь максимально высокого отношения подъемной силы к лобовому сопротивлению ( $LD$ -соотношение) [13, 21]. Фаза стабильного полета длится до тех пор, пока значение  $LD$ -коэффициента остается неизменным. Подготовка к приземлению начинается с того момента, когда заканчивается стабильный полет, и продолжается до тех пор, пока спортсмен не коснется земли [2, 13].

Спортивный результат определяется длиной прыжка, а также решением 5 судей по начислению очков за стиль и неблагоприятные погодные условия в качестве компенсации [16]. Длина полета в значительной степени определяется горизонтальной скоростью, которую развивает спортсмен в разгоне, параметрами отталкивания (вертикальной скоростью, вращательным моментом вперед), массой спортсмена, а также гравитационными и аэродинамическими силами в фазе устойчивого полета [5, 13, 14]. Считается, что хотя прыгун с трамплина не может выиграть только за счет хорошего исполнения фазы полета, но все же соревнование может быть проиграно из-за ошибок в выполнении этой фазы. На трамплинах большой мощности ( $HS \geq 185$  м) среднее время полета на лыжах в воздухе может быть почти в 3 раза более длительным, чем на обычном трамплине. Поэтому роль фазы стабильного полета в достижении спортивной результативности значительно повышается на трамплинах большой мощности [18].

Фаза посадки наиболее травмоопасна, и в случае нарушения равновесия может произойти падение лыжника [1, 2, 18]. Положение лыж играет важную роль во время подготовки спортсмена к приземлению, поскольку в это время рациональное положение лыж увеличивает длину полета и снижает силу удара [1, 2]. Специалисты считают, что значительная часть ранее полученных экспериментальных данных не может быть использована в современных исследованиях и практике подготовки

спортсменов. Это связано с тем, что прыжки с трамплина с применением современной экипировки и стиля полета, а также вследствие модернизации конструкции трамплинов в последнее время заметно изменились. Сегодня все спортсмены мирового класса используют во время полета так называемый  $V$ -стиль и приземление с использованием технического элемента «телемарк». До сих пор проблемой для прыгунов на лыжах с трамплина в разгар соревновательного сезона остается необходимость достигать максимальной прыгучести при минимальной массе тела [15] и сохранения высокой психологической устойчивости во время ответственных стартов [17].

**Цель работы** – выявление современных тенденций повышения эффективности выполнения различных фаз прыжка на лыжах с трамплина на основе использования современных технических средств для тренировки и контроля работоспособности спортсменов.

## Материалы и методы исследования

Основной метод исследования – анализ научной литературы, в том числе статей и рефератов статей, диссертаций, монографий и т.д. Проанализированы научные публикации по различным аспектам подготовки спортсменов в прыжках на лыжах из поисковой системы “Google Scholar”. Основной временной диапазон поиска – 2018–2023 гг., однако в ряде случаев использовались интересные или основополагающие материалы более ранних лет. Выявлялись основные проблемы, решаемые в данных исследованиях. Проанализированы методы решения этих проблем, в частности, внедрение новых подходов и технических решений в тренировочном процессе.

## Результаты исследования

*Фаза разгона* прыгуна с трамплина начинается со стартовых ворот, которые расположены на разной высоте. Спортсмен выбирает ворота в зависимости от погодных условий, силы и направления ветра, уровня подготовленности и массы тела [16]. Чем ниже к уровню трамплина расположены ворота, тем меньшая скорость будет достигнута на столе отрыва. Для выравнивания спортивного результата при прыжках с различного уровня расположения стартовых ворот спортсменам начисляются дополнительные очки, которые имеют корреляцию со спортивным результатом. Однако алгоритм начисления очков в зависимости от уровня ворот и наличия ветра остается предметом дискуссии [16]. Уклон разгонной части трамплина имеет три прямых участка и заканчивается столом отрыва, который расположен под отрицательным углом ( $-11^\circ$ ). Конструкция разгонной части трамплина до сих пор подвергается научному анализу с целью ее оптимизации [20]. Скорость, которая развивается спортсменом в разгоне, зависит от уровня ворот и принятой спортсменом позы, в которой он производит скольжение на лыжах. Лучшие прыгуны принимают оптимальную, с точки зрения аэродинамики, посадку (позу), которая обеспечивает меньшее (на 10,8%) лобовое сопротивление, что позволяет им достигать большей величины (примерно на 1 м/с) горизонтальной скорости на столе



отрыва [5]. На основе лазерного сканирования позы, в которой спортсмен производит разгон, показано, что на скорости 20–23 м/с спортсмен мирового класса демонстрирует меньшую (примерно на 10%) силу сопротивления и большую подъемную силу в финальной части отрыва [11].

*Фаза отталкивания* (взлета) имеет наибольшее значение для успеха спортсмена в прыжках на лыжах с трамплина, т.к. в ней задаются начальные условия для последующего полета [6, 12]. Из-за высоких скоростей (более 20 м/с) в конце фазы разгона спортсмены располагают весьма ограниченным интервалом времени для осуществления отталкивания, что делает эту фазу прыжка в техническом отношении очень сложной. Было выявлено, что элитные прыгуны с трамплина демонстрируют значительно более высокую скорость разгибания колена при отталкивании по сравнению со спортсменами более низкого уровня подготовленности, а также по сравнению со спортсменами лыжного двоеборья [6]. Это приводит к большему вертикальному ускорению центра масс (ЦМ). Вертикальный импульс, ускоряющий ЦМ, должен быть точно реализован в интервале времени выполнения отталкивания [6]. Было выявлено, что не только скорость разгибания ноги в колене, но и другие параметры, такие как: максимальная вертикальная скорость в момент отрыва, крутящий момент сил вперед, уравновешивающий направленный назад угловой момент, создаваемый аэродинамическими силами, сильно коррелируют с дистанцией прыжка [6]. Чтобы во время отталкивания прыгнуть как можно выше, вектор силы реакции опоры должен проходить через ЦМ [7]. Но чтобы создать направленный вперед угловой момент, сила реакции опоры должна действовать позади ЦМ. Для реализации этого спортсмен должен в фазе отталкивания смещать ЦМ в горизонтальном направлении, чтобы контролировать угловой момент [7].

Однако контроль углового момента является для спортсмена сложным двигательным действием, поэтому актуальной становится задача адекватного воспроизведения его в тренировочном процессе в ходе имитации отталкивания. Поскольку прыжки с трамплина отнимают много времени и требуют инфраструктуры, спортсмены используют имитационные прыжки в спортивном зале – прыжки из исходного положения в приседе, сходного с положением спортсмена во время фазы разгона. Эти прыжки выполняются со стационарной платформы или с катящихся устройств. Специалисты считают, что существуют значительные биомеханические различия между отталкиванием в имитационном прыжке и реальном прыжке на лыжах с трамплина [6, 16]. Например, горизонтальная и вертикальная скорости в отталкивании, сопротивление воздуха, трение и величины сдвига между ЦМ спортсмена и поверхностью в имитации и реальном прыжке различны. Отталкивание в прыжке на лыжах с трамплина происходит с меньшей силой давления на опору при более низкой вертикальной скорости и в более короткий интервал времени по сравнению с характеристиками выполнения имитационных прыжков. Важность правильного выполнения тренировочных прыжков с ими-

тацией подтверждается значимой корреляцией ( $r = 0,72$ ) между скоростью отрыва в имитационных прыжках и показателями результативности на Кубках мира по прыжкам с трамплина [10]. Обнаружено, что выполнение имитации прыжка на движущейся платформе показало наиболее близкое соответствие с выполнением прыжка на лыжах с трамплина, с точки зрения ее соотношения силы, времени и кинематики суставов ног. Это соответствие повышается при выполнении имитации в лыжных ботинках и поддержке тренером корпуса спортсмена для создания необходимого наклона вперед и создания крутящего момента за счет смещения точки опоры назад [10].

*Ранняя фаза полета* начинается с момента отрыва от стола трамплина и продолжается до начала устойчивого полета спортсмена в воздухе. Обычно дистанция начальной фазы полета составляет 18–20 м, по данным дифференциальной глобальной навигационной спутниковой системы (*dGNSS*) с точностью до 0,05 м [13]. Характеристики движения спортсмена в момент отрыва и начальной стадии полета в такой степени определяют длину прыжка, что последнее время стали использоваться системы с использованием датчиков и нейронной сети глубокого обучения для предсказания спортивных результатов в течение 1 секунды после отталкивания [12]. Исследования показали, что начальная скорость полета определяется характеристиками захода на стол отрыва, вертикальной скоростью при отталкивании и изменением позы во время взлета [6, 15, 19]. Именно в начальной стадии полета спортсмен должен принять оптимальное положение корпуса и лыж (изменение атаки  $\alpha$ , угла наклона тела к лыже и угла раскрытия лыж) для наилучших аэродинамических характеристик [6]. В начальной стадии полета спортсмен формирует стиль прыжка. *H*-образный стиль характеризуется параллельным расположением лыж. *V*-образный стиль выполняется с разведением носков лыж на угол 20–30° и *V*-стиль *flat* с большим наклоном корпуса вперед. При переходе из *H*-образного стиля к *V*-образному длина прыжка увеличивается, а *V*-стиль *flat* может добавить еще некоторое расстояние к конечному результату [21].

В начальной фазе полета спортсмен создает необходимый угол разведения носков лыж. Исследования аэродинамической модели показали, чтобы уменьшить сопротивление воздуха на ранней фазе полета и максимально увеличить подъемную силу в более поздней фазе полета, угол раскрытия лыж должен составлять около 26° [21]. Кроме того, спортсмен создает еще и угол крена ( $\gamma$ ) лыж, который по своей сути происходит от разведения ног спортсмена в *V*-образном стиле. Увеличение угла крена (более 5–10°) отрицательно сказывается как на создании подъемной силы, так и на соотношении подъемной силы и сопротивления, и поэтому спортсменам рекомендуется использовать пронацию стопы при разведении ног во время полета [21]. Спортсмену еще надо создать оптимальный угол атаки и угол между лыжами и корпусом. Все эти сложные технические действия спортсмен должен произвести меньше чем за секунды, и прыгуну с трамплина за столь короткое время трудно найти положение, наилучшее с точки зрения аэродина-



мики. Эти задачи решаются исследователями на основе экспериментов в аэродинамической трубе и средствами компьютерного моделирования [3, 5, 8, 9, 21]. В связи с этим средства срочной регистрации параметров движения в начальной стадии полета очень важны для формирования рациональной техники.

*Фаза устойчивого полета* (скольжения). По данным Ola Elfmark [14], при длине прыжка на нормальном трамплине (HS106), равной в среднем 92,88 м, и общем времени нахождения в воздухе 3,04 с, фаза устойчивого скольжения составляет 1,8 с; на высоком трамплине (HS140) – в среднем 2,87 с. При этом начальная фаза полета и подготовка к приземлению на обоих трамплинах одинакова и находится в пределах 0,76–0,80 с и 0,49–0,45 с соответственно [14]. Разница во времени нахождения спортсмена в полете на двух трамплинах разной величины составила 1,1 с, что объясняется временем, проведенным в фазе устойчивого скольжения. Используя геодезическую высококачественную *dGNSS*, можно измерить траекторию прыжка с трамплина с точностью  $\pm 0,05$  м, а также рассчитать как скорости, так и подъемную силу (*FL*) и силу сопротивления (*FD*) [4]. Это позволяет исследовать фазу устойчивого скольжения с точки зрения физики, а не с точки зрения спортсмена, ориентированного на действия. Для трамплина HS106 результативность во многом определяется подготовкой к взлету и скольжению. Следовательно, для нормальных трамплинов лыжники должны стремиться уменьшить величину ускорения падения за счет высоких аэродинамических сил, поддерживающих спортсмена во время фазы скольжения. Для нормального трамплина корреляция между *LD*-соотношением и длиной прыжка не наблюдалось. Данные с большого трамплина, наоборот, показывают, что фаза устойчивого скольжения очень важна для результативности прыжка в целом. Высокий коэффициент *LD*, отражающий отношение подъемных аэродинамических сил к силам сопротивления, коррелировал с длиной прыжка для трамплина HS140, и считается одним из наиболее важных факторов спортивной результативности. Скорость прыгуна с трамплина увеличивается в течение последней части воздушной фазы, таким образом, длина прыжка и относительная скорость являются взаимосвязанными факторами [14]. L. Zhang

[21], используя методы вычислительной гидродинамики, выявил оптимальное положение лыж в фазе полета (угол атаки, угол рыскания и угол крена, равные  $30^\circ$ ,  $20^\circ$  и  $0^\circ$  соответственно) для продления полетной фазы. Увеличение угла крена отрицательно сказывается как на создании подъемной силы, так и на соотношении подъемной силы и сопротивления. Чрезмерное увеличение угла рыскания до  $40^\circ$  может привести к номинальному сваливанию. Легкий прыгун с трамплина пролетает дальше с заметно меньшей скоростью. Компьютерное моделирование показывает, что снижение массы спортсмена на 2 кг может увеличить длину прыжка примерно на 2,5 м. Высокие скорости на столе отрыва и взлета увеличивают дальность полета, а угол ветра относительно горизонтального направления в диапазоне  $36\text{--}216^\circ$  может увеличить дальность полета примерно на 1,5 и 3,0 м на нормальном и большом трамплинах при меньшей скорости приземления [9].

*Фаза подготовки к приземлению.* Подготовка к приземлению и его выполнение является важным моментом для спортивной результативности и безопасности [1, 2]. Спортсмену необходимо приземлиться, используя технику «телемарк» (шаговое положение), а не с параллельным положением ног, чтобы получить технические баллы от судей [2]. Что касается безопасности, то в прыжках с трамплина травмы встречаются часто (26,3 на каждые 100 спортсменов за сезон). Аварийные посадки – наиболее частая причина травматизма (около 70%), и наиболее частой локализацией травмы является коленный сустав (33%) [18]. Высокая сила реакции опоры в момент контакта является одним из основных факторов разрыва передней крестообразной связки, а также других травм колена [1]. Кроме этого, высокое значение сил реакции опоры может повлиять на баланс во время приземления с возможным последующим падением. Средняя величина силы реакции опоры в момент контакта составляет  $2,7 \pm 0,9$  массы тела при разбросе значений от 1,1 до 5,3 массы тела [1]. Таким образом, количественная оценка величины силы реакции опоры, а также определение кинематики нижней части тела во время приземления в прыжке с трамплина могут сыграть важную роль в предотвращении травм, обеспечивая технические указания тренерам для оптимизации приземления [1, 2].

### Заключение

Основные проблемы подготовки спортсменов в прыжках на лыжах с трамплина обусловлены тем, что это сложнокоординационный и очень высокотехнологичный вид спорта. Он требует от спортсмена особых физических и психических качеств – хорошей прыгучести при низкой массе тела, высокой координации и развитого чувства равновесия при высокой психической устойчивости. Для этого вида спорта характерны технические действия в опорном и безопорном положениях при воздействии неблагоприятных факторов погоды. Так как длительность основной фазы прыжка – отталкивания – длится около 0,3 с и осуществляется с движущейся опоры в потоке набегающего воздуха (скорость которого выше 20 м/с), поэтому в условиях спортивного зала

трудно воспроизвести точную имитацию отталкивания на трамплине, что в значительной степени затрудняет процесс скоростно-силовой подготовки спортсменов. В полете лыжник-прыгун с трамплина должен выбрать оптимальное положение для лучшего аэродинамического скольжения, которое может быть определено только при экспериментах в аэродинамической трубе или путем компьютерного моделирования. Это требует использования технических средств срочной регистрации реакции опоры в отталкивании, траектории и скорости движения, сил аэродинамического сопротивления и подъема, а также сил реакции опоры при приземлении для обеспечения поступления срочной информации спортсмену и тренеру с целью коррекции спортивной техники.



## Литература / References

1. Bessone, V., Petrat, J. and Schwirtz, A. (2019), Ground Reaction Forces and Kinematics of Ski Jump Landing Using Wearable Sensors, *Sensors (Basel)*, 29, 19 (9), 2011 [Online], doi: 10.3390/s19092011
2. Bessone, V., Petrat, J. and Schwirtz, A. (2019), Ski Position during the Flight and Landing Preparation Phases in Ski Jumping Detected with Inertial Sensors, *Sensors (Basel)*, 19 (11):2575 [Online], doi: 10.3390/s19112575
3. Cao, L., Guo, Y., Li, X., Chen, L., Wang, X. and Zhao, T. (2022), Optimization of Ski Attitude for the In-Flight Aerodynamic Performance of Ski Jumping, *Biology (Basel)*, 17, 11 (9), 1362 [Online], doi: 10.3390/biology11091362
4. Elfmark, O., Ettema, G., Groos, D., Ihlen, E.A.F., Velta, R., Haugen, P., Braaten, S. and Gilgien, M. (2021), Performance Analysis in Ski Jumping with a Differential Global Navigation Satellite System and Video-Based Pose Estimation, *Sensors (Basel)*, 6, 21 (16), 5318 [Online], doi: 10.3390/s21165318
5. Elfmark, O. and Ettema, G. (2021), Aerodynamic investigation of the inrun position in Ski jumping, *Sports Biomech.*, 3, 1–15 [Online], doi: 10.1080/14763141.2020.1871503, Epub ahead of print, PMID: 33533308.
6. Ettema, G., Braaten, S., Danielsen, J. and Fjeld, B.E. (2020), Imitation jumps in ski jumping: Technical execution and relationship to performance level, *J. Sports Sci.*, 38 (18), 2155–2160 [Online], doi: 10.1080/02640414.2020.1776913, Epub 2020 Jun. 16, PMID: 32543286.
7. Ettema, G., Hooiveld, J., Braaten, S. and Bobbert, M. (2016), How do elite ski jumpers handle the dynamic conditions in imitation jumps? *J. Sports Sci.*, 34 (11), pp. 1081–1087.
8. Fang, X., Grüter, B., Pipek, P., Bessone, V., Petrat, J. and Holzapfel, F. (2020), Ski Jumping Trajectory Reconstruction Using Wearable Sensors via Extended Rauch-Tung-Striebel Smoother with State Constraints, *Sensors (Basel)*, 2, 20 (7), 1995 [Online], doi: 10.3390/s20071995
9. Jung, A., Müller, W. and Staat, M. (2019), Optimization of the flight technique in ski jumping: The influence of wind, *J. Biomech.*, 9, 88, pp. 190–193.
10. Ketterer, J., Gollhofer, A. and Lauber, B. (2021), Biomechanical agreement between different imitation jumps and hill jumps in ski jumping, *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 31 (1), pp. 115–123.
11. Link, J., Guillaume, S. and Eskofier, B.M. (2021), Experimental Validation of Real-Time Ski Jumping Tracking System Based on Wearable Sensors, *Sensors (Basel)*, 21 (23), 7780 [Online], doi: 10.3390/s21237780
12. Link, J., Schwinn, L., Pulsmeier, F., Kautz, T. and Eskofier, B.M. (2022), xLength: Predicting Expected Ski Jump Length Shortly after Take-Off Using Deep Learning, *Sensors (Basel)*, 22 (21), 8474 [Online], doi: 10.3390/s22218474, PMID: 36366174; PMCID: PMC9657424.
13. Elfmark, O., Ettema, G., Jølstad, P. and Gilgien M. (2022), Kinematic Determination of the Aerial Phase in Ski Jumping, *Sensors (Basel)*, 22 (2), 540 [Online], URL: <https://doi.org/10.3390/s22020540540>
14. Elfmark, O. and Ettema, G. (2022), Assessment of the steady glide phase in ski jumping, *Journal of Biomechanics*, vol. 139, 111139 [Online], URL: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2022.111139>
15. Ostachowska-Gąsior, A., Piwowar, M. and Zając, J. (2021), Segmental Phase Angle and Body Composition Fluctuation of Elite Ski Jumpers between Summer and Winter FIS Competitions, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18 (9), 4741 [Online], doi: 10.3390/ijerph18094741
16. Pietschnig, J., Pellegrini, M., Eder, J.S.N. and Siegel, M. (2020), After all, it is an outdoor sport: Meta-analytic evidence for negative associations between wind compensation points and round scores in ski jumping competitions, *PLoS One*, 15 (8), e0238101 [Online], doi: 10.1371/journal.pone.0238101
17. Sklett, V.H., Lorås, H.W. and Sigmundsson, H. (2018), Self-Efficacy, Flow, Affect, Worry and Performance in Elite World Cup Ski Jumping, *Front. Psychol.*, 9:1215 [Online], doi:10.3389/fpsyg.2018.01215
18. Stenseth, O.M.R., Barli, S.E., Martin, R.K. and Engbretsen, L. (2022), Injuries in elite women's ski jumping: a cohort study following three International Ski Federation (FIS) World Cup seasons from 2017–2018 to 2019–2020, *Br. J. Sports Med.*, 56 (1), pp. 35–40.
19. Virmavirt, M. and Kivekäs, J. (2021), Is it still important to be light in ski jumping? *Sports Biomech.*, 20 (4), pp. 407–418.
20. Kim, W., Lee, H., Lee, J., Jung, D. and Choi, H. (2019), Flow over a ski jumper in flight: Prediction of the aerodynamic force and flight posture with higher lift-to-drag ratio, *Journal of Biomechanics*, vol. 89, pp. 78–84.
21. Zhang, L., Li, X., Wang, X., Chen, L. and Zhao, T. (2022), Performance and Biomechanics in the Flight Period of Ski Jumping: Influence of Ski Attitude, *Biology (Basel)*, 11 (5):671 [Online], doi: 10.3390/biology11050671

