

Культура физическая и здоровье. 2023. № 4 (88). С. 277-286.
Physical Culture and Health. 2023, 4 (88), 277-286.

Научная статья
УДК 796.015.12, 796.012.4, 796.012.5
DOI: 10.47438/1999-3455_2023_4_277

О РАВНОВЕСИИ И НЕРАВНОВЕСИИ В ГОРНОЛЫЖНОМ СПОРТИВНОМ ПОВОРОТЕ



Александр Александрович Ривлин ¹, Сергей Дмитриевич Леготин ²

Учебный центр Федерации горнолыжного спорта и сноуборда России ^{1, 2Б}
Москва, Россия

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана ^{2А}
Москва, Россия

¹ Преподаватель

тел.: +7(926)877-32-46, e-mail: alriv@inbox.ru

ORCID 0009-0008-3172-8789

^{2А} Кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики

^{2Б} Инструктор 1 категории

Аннотация. В статье рассматривается динамика горнолыжного спортивного поворота с выделением динамически различающихся участков в контексте условия равновесия в 3-х аспектах: механическом, физиологическом, методическом.

Спортсмен для управления траекторией и с целью минимизации энергетических затрат выполняет повороты в относительном динамическом равновесии, стремясь при их выполнении принимать стойку, удовлетворяющую условию равновесия.

Равновесие биомеханических систем возможно либо неустойчивое, либо на грани устойчивости, в отличие от стационарных условий равновесия. Состояние равновесия при выполнении поворотов сопровождается хаотичными отклонениями равнодействующей опорных реакций от центра масс, которые спортсмен нивелирует своей мелкой моторикой.

Спортсмену для выхода из поворота и перехода в следующий необходимо выйти из состояния равновесия.

Учитывая движение спортсмена в поворотной дуге при огибании флага с опорой на 2 лыжи и с расположением равнодействующей опорных реакций в пределах точек опоры (стоп спортсмена), возникает состояние с характерными признаками устойчивого равновесия.

В статье проанализированы показания систем датчиков, установленных на спортсменах высокой квалификации при прохождении спортивной трассы. Показания систем датчиков демонстрируют определённые идентичные алгоритмы изменения стойки спортсменов в поворотах, что свидетельствует об управлении стойкой и траекторией. Для данного управления спортсмену необходимо учитывать, отслеживать, оценивать внешнее силовое воздействие, что возможно в положении, наиболее близком к равновесному. В неравновесном положении контролировать внешнее силовое воздействие невозможно.

В статье сформулировано терминологическое определение баланса.

Ключевые слова: горные лыжи, спорт, биомеханика, условие равновесия, баланс, слалом, методика, наука, обучение, физиология, поворот, загрузка, разгрузка, фазы, траектория.

Для цитирования: Ривлин А. А., Леготин С. Д. О равновесии и неравновесии в горнолыжном спортивном повороте // Культура физическая и здоровье. 2023. № 4. С. 277-286. DOI: 10.47438/1999-3455_2023_4_277.

Введение

Движение спортсмена–горнолыжника по спортивной трассе состоит из разнонаправленных поворотов, каждый из которых должен обеспечить прохождение очередных ворот трассы и, по возможности, с максимальной скоростью. Цель настоящей работы – проведение кинематического и динамического анализов горнолыжного спортивного поворота для выделения динамически различающихся этапов поворота. Объектом для анализа возьмем классический горнолыжный поворот, выполняемый спортсменом–профессионалом высокого уровня. Причины для этого очевидны: «правильный» классический поворот высококвалифицированные горнолыжники, в отличие от любителей разного уровня, выполняют с точки зрения динамики практически одинаково, что позволяет однозначно трактовать и адекватно описывать их действия.

Из механики следует, что при управляемом движении по дуге поворота спортсмену необходимо выполнить наклон тела к центру поворота. Это относится к бегунам, велосипедистам, мотоциклистам, воднолыжникам,

горнолыжникам и другим представителям спортивных дисциплин, в которых присутствуют элементы движения по дуге.

Положение лыжника в повороте может быть охарактеризовано расположением центра масс (ЦМ) лыжника (т. С, рис. 1) и положением проекции ЦМ на склон (т. С'), а также точкой пересечения со склоном вектора равнодействующей опорных реакций, действующих на лыжи со стороны снежно-ледового покрова (т.н. «опорная точка», или т. О). Это позволяет кинематически описывать поворот как перемещения в плоскости склона по однонаправленным дугам двух связанных с лыжником выбранных точек: проекции ЦМ на склон и опорной точки, как точки приложения равнодействующих опорных реакций. Очевидно также, что после выполнения дуги поворота лыжник должен предпринять некие действия, связанные с необходимостью перехода в очередной, противоположно направленный поворот.



Рис. 1 – Ангуляционное (угло-винтовое) положение лыжника в повороте:
т. С – центр масс лыжника;
т. С' – проекция центра масс на склон;
т. О – точка приложения равнодействующих опорных реакций
– угол наклона опорной линии к нормали склона;
 ψ – угол ангуляции

При этом большую часть времени в каждом из чередующихся классических поворотов занимает именно движение по дуге поворота (рис. 2) и составляет примерно 2/3 от времени полного цикла выполнения поворота от точки S до точки E (рис. 2). Характерное время ведения дуги поворота имеет различные значения в зависимости от вида трассы. Так для трасс специального

слалома время ведения дуги поворота составляет 0,4ч0,6 сек, а для слалома-гиганта, супергиганта и скоростного спуска время ведения дуги поворота длится существенно дольше. Исключением является прохождение спортсменом фигур "шпилька" и "змейка" специального слалома, в которых проекция ЦМ спортсмена, в отличие от опорной точки, движется практически по

прямой. Но для рассмотрения динамики поворота будем рассматривать не эти частные случаи, а классический поворот, в котором при огибании флага проекция ЦМ и

опорная точка в повороте двигаются по своим дугам в одном направлении достаточно продолжительное время.

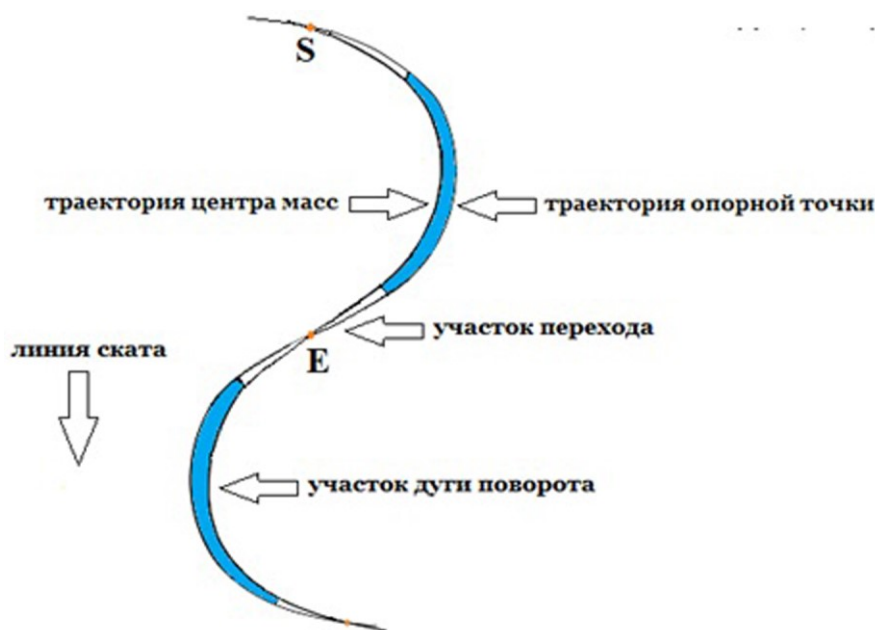


Рис. 2

Анализ горнолыжной траектории Равновесная часть горнолыжного спортивного поворота

Механический аспект

Отличительной особенностью ведения дуги поворота является относительная стабильность, невысокая подвижность частей тела и конечностей лыжника относительно друг друга. Их взаимные перемещения относительно центра масс лыжника не слишком значительны и, главное, осуществляются в невысоком темпе, плавно, без резких движений, в течение ведения всей дуги поворота. При этом вращение корпуса лыжника в повороте выполняется синхронно по мере движения по дуге поворота. Так, например, при повороте от направления линии ската с начальным углом движения -60° до конечного угла $+60^\circ$ за характерное время ведения дуги поворота для наиболее динамичных поворотов специального слалома угловая скорость вращения корпуса лыжника достигает значений порядка 4 рад/с. Эти низкие значения угловых скоростей позволяют пренебречь компонентами сил инерции, связанными с вращением корпуса лыжника относительно своего центра масс. С механистической точки зрения это означает, что в неинерциальной системе отсчета, связанной с движущимся центром масс лыжника, отдельные участки тела лыжника и его конечности в дуге поворота перемещаются так медленно, что вращательными, центробежными и Кориолисовыми компонентами сил инерции этих элементов, а следовательно, и моментами этих сил инерции можно пренебречь [1].

Лыжник при своем движении по трассе ориентируется на те силы, которые действуют на него со стороны Земли (сила тяжести), со стороны склона (опорные реакции и силы трения, действующие на лыжи со стороны

снежно-ледового покрытия), а также со стороны воздуха (ветровая нагрузка, или сила аэродинамического сопротивления). При этом, поскольку скорость движения центра масс лыжника (т. С) меняется по величине и по направлению, в том числе и за счет криволинейности траектории ЦМ, то, в соответствии с правилами механики, рассматривая механическую систему "лыжник-лыжи" в подвижной системе отсчета, связанной с ЦМ, необходимо добавить поступательную переносную силу инерции Φ , равную массе системы, умноженную на ускорение ЦМ со знаком "минус" ($\Phi_c = -ma_c$). В классическом горнолыжном повороте обычно радиус траектории движения ЦМ много больше разностей в удаленностях точек рассматриваемой механической системы от центра поворота, т.е. поле сил инерции при повороте почти не отличается от однородного. В этом случае точка приложения равнодействующей сил инерции, направленной наружу поворота, практически совпадает с центром масс.

Для простоты будем считать, что центр аэродинамического сопротивления, сила тяжести и сила инерции приложены к одной точке – центру масс лыжника, формируя приложенную к ней же равнодействующую внешних сил, включая поступательную переносную силу инерции. С учетом допущенных приближений на механическую систему фактически действуют только две силы – равнодействующая внешних сил, включая силу инерции, и равнодействующая опорных реакций и сил трения. Очевидно, что при этом в соответствии с теоремой о движении центра масс [6] автоматически выполняется первое условие равновесия в подвижной си-

системе отсчета, связанной с ЦМ системы, т. е. относительного равновесия – равенство нулю суммы всех приложенных сил, включая переносную поступательную силу инерции. Кроме того, при относительном равновесии должно выполняться и второе условие равновесия, а именно равенство нулю суммы моментов всех приложенных сил относительно какой-либо точки системы. Оно выполняется, когда линии действия этих двух равнодействующих совпадают и, следовательно, проходят через центр масс системы. В соответствии с теоремой об изменении кинетического момента равенство нулю суммы моментов всех приложенных сил означает отсутствие изменений кинетического момента системы, что при исходном малом его значении означает отсутствие быстрых вращений тела лыжника.

Таким образом, **относительное** или **динамическое** равновесие в горнолыжном повороте определяется условием равенства нулю суммы моментов приложенных сил, включая переносную поступательную силу инерции, относительно любой точки системы «лыжник – лыжи».

Это условие предполагает отсутствие быстрых, динамичных поступательных и вращательных движений тела спортсмена и его конечностей. В неинерциальной системе отсчета, связанной с лыжником, вращения тела и его конечностей будут близки к нулю.

При равновесном движении в повороте основным ориентиром для лыжника, позволяющим сохранять стабильность своего положения, является т.н. "опорная линия" – линия действия вектора равнодействующей опорных реакций со стороны склона. Опорная линия пересекает склон в области между ботинками горнолыжника, формируя «опорную точку».

Как показано в работах [2, 10], при совпадении линий действия равнодействующей внешних сил и опорной линии образуется уравновешенная система сил. Это означает, что в условиях относительного динамического равновесия опорная линия проходит через центр масс, к которому приложены внешние силы и сила инерции. Таким образом, в условиях относительного равновесия опорная линия совпадает с отрезком, соединяющим опорную точку и центр масс лыжника (рис. 1). В работе [10] показано, что отклонение центра масс от опорной линии приводит к потере относительного динамического равновесия.

В отличие от стационарных условий равновесия, в которых равновесие чаще всего является устойчивым, динамическое равновесие биомеханических систем является либо неустойчивым, либо находится на грани

устойчивости. Для циклических видов движений, к которым относятся горные лыжи, это определяется необходимостью легкого, энергетически мало затратного выхода из равновесного положения для быстрого перехода в следующий поворот, поскольку выход из устойчивого положения всегда связан с необходимостью преодоления определенного потенциального барьера, формирующего область устойчивого равновесия.

В состоянии покоя, в статике, человек физиологически выбирает наименее энергетически затратное положение, коим является равновесное в силу отсутствия неуравновешенных силовых моментов, которые способны повлиять и изменить выбранное положение. В статике в равновесном положении механическая работа тела и конечностей будет отсутствовать и энергия будет затрачиваться только на поддержание равновесного положения.

В подвижной системе отсчета, в неинерциальной связанной с лыжником, критерии условия выбора равновесного положения не отличаются от выбора равновесного положения в статике. В динамике механическая работа в равновесном положении будет отсутствовать, так как она может возникать только при перемещении точки приложения силы относительно подвижной системы отсчета, что возможно только при выходе из равновесного положения. В подвижной системе отсчета энергия лыжника, находящегося в равновесном положении, будет затрачиваться только на поддержание выбранного положения с условием равновесия, так же, как и в статике. В неравновесном положении перемещения точки приложения силы неизбежны, поэтому будет выполняться механическая работа. А учитывая перегрузки, в три раза превышающие вес лыжника, в неравновесном положении лыжнику потребуются выполнение механической работы по стабилизации своего положения с созданием сил, превышающих возникающие перегрузки, что не представляется возможным.

В качестве аналогии можно привести канатоходца, который в процессе своего движения по проволоке стремится к выполнению минимальной механической работы, направленной на равновесие, и стремится к наименее энергетически затратному положению, которое соответствует равновесному. При своем движении канатоходец находится в неустойчивом равновесии (рис.3). И самое незначительное изменение положения тела без компенсаторных действий со стороны канатоходца будет только усугублять неравновесное положение. Естественный возврат к равновесному положению без выполнения канатоходцем определенной механической работы невозможен.



Рис. 3



Рис. 4

Горнолыжник при выполнении поворота, учитывая возможность перераспределения нагрузки между лыжами, так как имеет две точки опоры и возможность при этом перемещения опорной точки в некотором поперечном диапазоне между лыжами (точки А и Б, рис. 4), будет находиться в некой потенциальной яме с характерными признаками устойчивого равновесия (рис.

4). Следовательно, лыжник, в случае нахождения опорной точки между точками А и Б, будет находиться в состоянии устойчивого равновесия. Но при выходе опорной точки за пределы поперечного диапазона, ограниченного лыжами, лыжник окажется в состоянии неустойчивого равновесия. К слову сказать, сноубордист,

так же, как и канатоходец, имея одну точку опоры (сноуборд), в повороте всегда находится в состоянии неустойчивого равновесия.

Следует отметить, что для спортсмена поперечный диапазон перемещений опорной точки для восстановления равновесия ограничен не лыжами, а значительно меньшим отрезком. Это связано с желанием сохранения определенного алгоритма изменений перераспределения нагрузок между лыжами в повороте, которое сформировано индивидуальными техническими навыками. В случае изменения наработанного алгоритма перераспределения нагрузок, что неизбежно будет возникать в случаях восстановления и потери равновесия, опорные реакции, включая и силы трения, будут изменяться непредсказуемо и приводить к потере скорости. Данный аспект не является темой данной публикации и будет освещен в отдельной работе.

Поэтому спортсмен двигается в дуге со значительно большим запасом устойчивости находясь в некой потенциальной яме, стремясь наименьшим образом влиять на отработанный алгоритм изменений перераспределения нагрузок между лыжами.

Физиологический аспект

Для лыжника равновесное положение, при котором его опорно-двигательный аппарат (ОДА) находится в наиболее естественном, не закрепощенном состоянии, готовым к выполнению и противодействию совокупности разнообразных физических нагрузок при различных формах движения как всего тела, так и отдельных его частей и конечностей, характеризуется тем, что его центр масс располагается по линиям действия внешних сил. А именно, когда равнодействующая сил тяжести и инерции направлена в точку приложения равнодействующей опорных реакций, которая в свою очередь направлена в ЦМ лыжника. При таком расположении центра масс положение тела человека стабилизируется усилиями скелетных мышц при минимальных энергетических затратах мышечных групп, обеспечивающих устойчивое положение тела в пространстве. В отсутствии изменения длины мышц и при неподвижности суставов ОДА мышцы несут т.н. изометрическую нагрузку. В механике статические силы работы не совершают, однако для поддержания статического положения тела человека скелетные мышцы совершают активную работу, что предопределяет развитие утомления мышц. При изометрической нагрузке даже в отсутствии видимых движений мышц ОДА поддержание их мышечного тонуса, необходимого для обеспечения статического положения тела человека, связано с совокупностью поочередных координированных сокращений различных мышечных волокон скелетных мышц. Сокращение отдельного мышечного волокна имеет продолжительность 0,05-0,2 секунды. Непрерывная попеременная смена кратковременных сокращений отдельных мышечных волокон обеспечивает изометрический характер сокращения мышцы с целью создания мышечного тонуса при статичном поддержании положения тела [9]. Выполнение мышцами работы при изометрической нагрузке предопределяет развитие утомления мышц. Известно, что мышцы человека устают гораздо быстрее при статической нагрузке, в отличие от циклической, при которой происходит периодическое снятие

нагрузки. При движении – ходьбе или беге, осуществляемых в обычном, не форсируемом темпе (шаг за 0,5 секунды и меньше) мышцы попеременно выполняют цикл загрузки – разгрузки, обеспечивая свою нормальную функциональную работу в течение требуемого времени. Характерное время приложения и снятия нагрузки при таком перемещении составляет десятые доли секунды. В отличие от ходьбы или бега лыжник в повороте занимает относительно стабильное статичное положение. При этом мышцы ОДА, выполняя изометрическую нагрузку, удерживают тело в положении динамического равновесия (баланса) под действием инерционных нагрузок, величины которых могут существенно, в разы превышать статические нагрузки в отсутствии движения. Длительность нахождения в изометрическом положении тела в фазе ведения дуги поворота может достигать секунды и более, если учитывать темп выполнения поворота в слаломе-гиганте и скоростных дисциплинах. Это время значительно превышает характерную естественную продолжительность фазы мышечной загрузки при беге или ходьбе. В связи с этим крайне важно минимизировать мышечную силовую нагрузку по стабилизации тела в процессе выполнения горнолыжного поворота, что однозначно связано с принятием спортсменом естественного для него равновесного положения.

Методический аспект

Рельеф склона, его крутизна, локальные неровности снежно-ледового покрытия, а также разметка ворот флажками постановщиком трассы меняются по всей ее протяженности разным образом.

Следовательно, спортсмен по трассе в каждом повороте должен подстраиваться под конкретный участок трассы, что подразумевает активное управление лыжником своими движениями, управление положением своего тела и конечностями в каждом повороте.

Кроме того, все повороты в трассе определены флажками при ее постановке. Каждый спортсмен при просмотре трассы намечает свою траекторию движения, мысленно определяя дуги, по которым будет огибать поворотные флаги, а также места начал и окончаний всех поворотных дуг. При этом в рамках конкретной трассы траектории движения спортсменов по трассе, рисунок дуг, огибающих поворотные флаги, места их начал и окончаний практически не отличаются у подавляющего большинства спортсменов. Спортсмены интуитивно выбирают один и тот же рисунок дуг, который следует из первоначальной ее разметки постановочными флажками.

Каждая поворотная дуга в трассе имеет свои особенности и отличия. Дополнительно к имеющимся неровностям, рельеф снежно-ледового покрытия на каждом участке трассы имеет тенденцию к изменению. Это связано с механическими повреждениями полотна трассы при проезде участников. В дугах могут возникать дополнительные помехи: ямы, брустверы, насечки, неоднородности покрытия и т.д. Поэтому при прохождении дуг спортсмен должен подстраиваться не только под общий рисунок дуг, но и подстраиваться под их индивидуальные особенности с возможными непредвиденными помехами: ямами, насечкой и т.д., должен оперативно корректировать стойку, чтобы осуществлять прохожде-

ние поворотного флага с максимально возможной скоростью.

Так же, каждая поворотная дуга, огибающая флаг, имеет конкретное место своего начала и окончания. Спортсмену при проезде по трассе важно точное попадание в каждые из начал запланированных дуг.

Из сказанного выше можно сделать вывод, что спортсмен должен не только уметь двигаться по запланированной траектории, но и оперативно реагировать на всевозможные помехи своему движению со стороны склона, уметь оперативно подстраиваться под внешние условия движения, имея постоянную обратную связь со склоном.

Учитывая, что движение лыжника (положение, траектория, скорость) осуществляется под действием внешних сил и всецело от них зависит, лыжник в процессе выполнения поворота должен постоянно оценивать внешние силы. Адекватно оценить внешнее силовое воздействие, величину и направление действия равнодействующих внешних сил возможно только при нахождении в равновесном положении.

Поэтому обрабатывать всевозможные неровности, воспроизводить запланированный рисунок дуг и точно попадать в начала поворотных дуг, то есть связывать дуги, наиболее точно возможно в положении максимально близком к равновесному.

Любая неровность, изменяющая опорные реакции, нарушает равновесие лыжника, вызывает все большие отклонения тела от уравновешенной системы сил, действующих на лыжника [2]. При этом будет увеличиваться плечо отклонения вектора опорных реакций от ЦМ, увеличиваться силовой опрокидывающий момент, который, имея тенденцию к лавинообразному увеличению, начнет все более вращать и опрокидывать систему «лыжник-лыжи».

Если спортсмен коррекцией своей стойки не способен исправить ситуацию, приблизить вектор опорных реакций к ЦМ, уравновесив этим действующие на него силы, произойдет вылет с трассы или падение.

Таким образом условие равновесия является основным ориентиром в горнолыжном повороте и достижение равновесия в дуге поворота является главной целью спортсмена горнолыжника.

Но, выполнение поворота с условием равновесия является сложной задачей даже для спортсменов высокого уровня. Если на начальном этапе становления спортсменом это в большей степени связано с освоением горнолыжного инвентаря (лыж, ботинок, ...) и привязки своей биомеханики к заданной постановочными флагами дуге поворота, то для спортсменов высокого уровня проблема обеспечения равновесия в дуге поворота связана в большей степени с повреждениями полотна трассы и скоротечностью выполнения поворотных дуг. Спортсмен для переходов между поворотами должен использовать неравновесное положение, а в поворотных дугах - равновесное. В процессе выполнения поворотов происходит чередование состояний: равновесия с отсутствием равновесия. В стремлении спортсмена двигаться с наибольшей скоростью, времени на выполнение поворотных дуг и переходов между дугами отводится все меньше и меньше. Если потеря равновесия для выполнения переходов между дугами для лыжника не обременительна, так как это провоцирует внешнее

силовое воздействие, то на обеспечение равновесия в поворотных дугах требуются физические и временные затраты. И спортсмен в соревновательной трассе стремясь к наибольшей скорости, иногда рискуя, не всегда успевает полноценно приблизиться к положению равновесия особенно на сложных участках трассы. В этих случаях возможны отклонения от оптимальной траектории, отклонения от намеченной линии - термин, использующийся в тренерской среде, что, как следствие, приводит к отставанию от графика движения по трассе.

Баланс

Естественно, что по мере движения лыжника по дуге поворота, по мере изменения скорости и пространственной ориентации лыжника, система сил, действующих на лыжника: направления равнодействующих этих сил и их значения постоянно изменяются. Возникают отклонения положения тела от уравновешенной системы сил, которые лыжник мелкой моторикой своевременно исправляет, подстраиваясь коррекцией своей стойки под изменения внешнего силового воздействия, стараясь сохранить меняющееся положение относительного равновесия, т.е. поддержать свой баланс.

По мере выполнения поворота процесс исправления отклонений тела от уравновешенной системы сил происходит постоянно и непрерывно. Спортсмен в повороте постоянно балансирует на грани потери и восстановления равновесия, стараясь минимизировать свои энергетические затраты на сохранение равновесия, на выравнивание своего тела по линиям действия равнодействующих сил, минимизируя этим диапазон отклонений.

Если ему удастся поддерживать этот диапазон в пределах, позволяющих сохранять темп движения по трассе, то можно считать, что спортсмен сохраняет свой баланс и находится в состоянии динамического относительного равновесия.

В процессе тренировок у спортсмена формируется определенный диапазон, в пределах которого отклоняются равнодействующие внешних сил от условия равновесия. Чем выше мастерство спортсмена, его уровень подготовки, координационные способности, более развит вестибулярный аппарат, тем меньше этот диапазон. Положение тела, стойки в повороте более стабильно, энергетические затраты на сохранение сбалансированного положения минимальны. У спортсмена появляется способность лучше следить за своим скольжением.

Ассоциацией может служить пример движения канатоходца, который балансирует на канате, теряя и восстанавливая свое равновесие, практически не добиваясь строгого соответствия положению равновесия, при котором сумма всех сил и моментов сил, приложенных к телу, были бы равны нулю и все равнодействующие располагались по одной линии. Чем меньше его отклонения от уравновешенной системы сил, тем его положение ближе к равновесному. Тем не менее, несмотря на хаотичные отклонения от положения равновесия, канатоходец в случае продолжения движения будет находиться в состоянии динамического относительного равновесия, по сути, добиваясь положения равновесия лишь случайно, эпизодически.

Спортсмен в повороте при ведении дуги так же лишь стремится к положению равновесия, балансируя на

гране устойчивости и неустойчивости, пытаюсь приблизить свое положение к уравновешенной системе сил.

Таким образом, в горнолыжной терминологии под балансом спортсмена следует понимать нахождение в состоянии динамического относительного равновесия с отклонениями от положения равновесия практически не приводящими к потере темпа движения по трассе.

Неравновесная часть горнолыжного поворота. Для смены направления дуг лыжник должен инвертировать свой наклон на противоположное значение относительно нормали к склону. Очевидно, что это возможно выполнить только в неравновесном положении. Неравновесное состояние при относительном движении с точки зрения динамики является антиподом равновесному. С учетом рассмотренных определений, неравновесное состояние характеризуется наличием быстрых вращений корпуса и/или быстрых движений конечностей, продолжительность которых много меньше длительности рассмотренных равновесных положений. Инициация или завершение таких быстрых движений/вращений обязательно связаны с наличием линейных и угловых ускорений элементов механической системы, что автоматически приводит к возникновению моментов сил инерции, т.е. к потере условий относительного равновесия. Учитывая, что движение по трассе складывается из сопрягаемых разнонаправленных дуг с соответствующими наклонами тела, спортсмен заинтересован в сокращении времени переходов между дугами и наиболее быстрых инверсиях своего наклона с целью начала выполнения последующих дуг.

С позиции кинематики переход с одного поворота в другой означает вращение тела лыжника для создания противоположного направления кривизны траекторий проекции центра масс и опорной точки в новом повороте. Таким образом, при переходе в новый поворот спортсмен заинтересован в наиболее быстрых враще-

ниях, что часто приводит к отрывам лыж от склона, потерей опоры и перемещению ЦМ по баллистической траектории. Минимизация опорных реакций позволяет не препятствовать быстрым вращениям, изменяющих наклоны тела, ускоряющие выходы из поворотов для выполнения последующих за переходами дуг. Спортсмен в переходах пытается уменьшить связь со склоном для минимизации влияния опоры на развивающиеся вращения. Таким образом, переход между дугами характеризуется неравновесным положением с минимальными опорными реакциями, не превышающими веса лыжника, либо отсутствием опорных реакций.

Из механики следует, что в дугах в результате действия инерционных сил и силы тяжести, опорные реакции имеют тенденцию к значительному увеличению. И в отличие от переходов между дугами, где опорные реакции не превышают веса лыжника, в дугах опорные реакции увеличиваются пропорционально перегрузкам, которые могут возрастать вплоть до значений порядка 3g.

Таким образом, участок перемещения по дуге характеризуется положением динамического равновесия и значительными опорными реакциями. А участок переходов характеризуется минимальными опорными реакциями, не превышающими вес лыжника и неравновесным положением либо полным отсутствием опорных реакций.

Рассмотренные выше особенности выполнения основной части дуги поворота в состоянии относительного равновесия подтверждаются экспериментальными данными, полученными при тестировании элитных спортсменов-горнолыжников с использованием системы датчиков [13]. Из работы можно количественно оценить, что в наиболее динамичных г/л дисциплинах – в специальном слаломе и в слаломе гиганте, движение в дуге поворота составляет примерно 2/3 от общего времени поворота, а на время перехода отводится примерно 1/3.

Табл. 1

Условные фазы поворота (развод 10м)	Опорные реакции	Наклон тела	Угол закатовки	Угол атаки	Ангугляция бедер	Ангугляция колен
1	256 ± 49 /	0.4 ± 0.6	5.1 ± 4.6	3.1 ± 2.4	0.7 ± 2.0	4.0 ± 3.3
2	498 ± 48 / 0.52 ± 0.05	22.2 ± 2.3	31.7 ± 3.5	7.4 ± 4.3	5.8 ± 1.7	3.7 ± 3.0
3	2431 ± 128 / 2.54 ± 0.12	46.4 ± 1.2	59.2 ± 1.6	11.7 ± 4.5	8.7 ± 1.2	4.1 ± 1.9
4	2898 ± 433 /	49.0 ± 1.2	64.6 ± 1.5	6.8 ± 3.6	10.7 ± 1.2	4.9 ± 1.1
5	2485 ± 287 / 2.59 ± 0.20	43.9 ± 2.5	61.9 ± 3.3	3.7 ± 1.6	13.2 ± 1.2	4.8 ± 1.6
6	622 ± 63 / 0.65 ± 0.09	20.0 ± 1.9	32.2 ± 3.4	1.3 ± 1.3	15.8 ± 1.6	-3.6 ± 2.9
7	193 ± 76 /	0.5 ± 0.8	4.7 ± 4.4	-1.9 ± 2.3	13.7 ± 2.4	-9.6 ± 4.1
Развод 13м						
1	206 ± 76 /	0.1 ± 0.8	4.5 ± 5.1	0.5 ± 2.4	1.3 ± 3.7	3.1 ± 1.9
2	526 ± 87 / 0.55 ± 0.11	28.5 ± 2.8	38.2 ± 3.4	6.0 ± 3.8	7.3 ± 2.1	2.5 ± 1.3
3	2361 ± 296 / 2.46 ± 0.27	52.0 ± 2.2	64.4 ± 1.4	6.7 ± 3.4	8.3 ± 1.0	4.2 ± 1.8
4	2860 ± 409 /	55.8 ± 1.6	70.2 ± 1.3	5.7 ± 2.2	9.0 ± 1.6	5.4 ± 1.2
5	2865 ± 270 / 2.99 ± 0.14	49.4 ± 1.4	66.1 ± 2.0	3.9 ± 1.1	12.6 ± 2.0	4.1 ± 0.9
6	729 ± 100 / 0.76 ± 0.08	20.0 ± 1.1	33.2 ± 3.1	2.4 ± 0.5	19.7 ± 5.2	-6.5 ± 3.5
7	230 ± 51 /	1.1 ± 0.6	6.3 ± 5.5	1.5 ± 1.6	16.9 ± 5.8	-11.7 ± 2.1

В [13] представлены данные с систем датчиков, которые были установлены на спортсменах, и перенесены в сводную табл. 1.

Условные фазы поворота – это участки равномерной длины, составляющие траекторию поворота от точки S до точки E (рис. 2).

В [13] показано, что на некоторой части поворота, в

табл. 1 выделено красным, показатели опорных реакций, углов наклона тела спортсмена и закатовки, достигнув определенных значений, практически фиксируются: опорные реакции изменяются в пределах, не превышающих 15 %, а углы опорной линии и закатовки изменяются в пределах не превышающих 10 % с учетом

всех испытуемых. Причем, алгоритм изменений опорных реакций и углов закантовки и опорной линии всегда идентичен. Из этого следует, что при ведении дуги спортсмен сохраняет стабильное положение, что возможно только в положении динамического (относительного) равновесия. В противном случае, в неравновесном положении, поддерживать одинаковые алгоритмы изменений углов закантовки и опорной линии и опорных реакций, а так же удерживать их значения примерно на одном уровне, было бы невозможно.

В табл. 1 приведены количественные оценки изменений угла атаки (скольжения), бедренной и коленной ангуляций. Одинаковые алгоритмы изменений этих параметров наблюдаются у всех тестируемых спортсменов элитного уровня. Схожесть алгоритмов говорит об определенном управлении процессом выполнения поворота, что было бы невозможно в неравновесном положении. При отсутствии у спортсменов динамического относительного равновесия поддерживать в таких малых пределах и на таком продолжительном интервале дуги поворота основные показатели поворота: давление, угол наклона опорной линии и угол закантовки, да еще с идентичными алгоритмами динамик всех показателей – углов скольжения, бедренной и коленной ангуляций, было бы невозможно.

Следует отметить, что данные закономерности выявлены в наиболее динамичной г/л дисциплине – специальном слаломе с разводом флагов в 10 и 13 метров. В специальном слаломе времени на выполнение ведения дуги в динамическом равновесии крайне мало относительно других г/л дисциплин, таких как слалом–гигант, супергигант и скоростной спуск. И тем не менее, несмотря на скоротечность слаломного поворота, спортсмен успевает стабилизировать свое положение и слаломную дугу при огибании флага выполнять в динамическом относительном равновесии.

При выполнении поворотов больших радиусов в слаломе–гиганте, супер–гиганте продолжительность участка ведения дуги увеличится, но соотношение ведения дуги и перехода будет примерно сохраняться для поворотов и больших радиусов.

То, что переход между дугами характеризуется неравновесным положением с минимальными опорными реакциями, не превышающими веса лыжника, либо отсутствием опорных реакций подтверждается экспериментальными данными в [13] (табл. 1), которые показывают, что на других участках поворота помимо участков ведения дуги при огибании поворотного флага наблюдаются минимальные опорные реакции и быстро изменяющийся угол наклона, что свидетельствует о неустойчивости положения спортсмена и его вращениях.

Выводы

С механистической позиции, **относительное** или **динамическое** равновесие в горнолыжном повороте определяется условием равенства нулю суммы моментов приложенных сил, включая переносную поступательную силу инерции, относительно любой точки системы «лыжник–лыжи».

Но, в отличие от стационарных условий равновесия, в которых равновесие чаще всего является устойчивым,

динамическое равновесие биомеханических систем является либо неустойчивым, либо находится на грани устойчивости.

По мере выполнения поворота процесс исправления отклонений тела от уравновешенной системы сил происходит постоянно и непрерывно. Спортсмен в повороте постоянно балансирует на грани потери и восстановления равновесия, стараясь минимизировать свои энергетические затраты на сохранение равновесия, на выравнивание своего тела по линиям действия равнодействующих сил, минимизируя этим диапазон отклонений.

Учитывая вышесказанное, учитывая сложность обеспечения равновесия в повороте, в методическом аспекте необходимо учесть целенаправленное стремление спортсмена к равновесию в каждой поворотной дуге и использованию неравновесного положения для переходов между дугами.

Таким образом, в работе рассмотрен классический горнолыжный спортивный поворот. В трех аспектах: механическом, физиологическом, методическом обоснована необходимость выполнения поворота в динамическом относительном равновесии и связующего повороты неравновесного участка, характеризующегося либо отсутствием опорных реакций, либо их минимальными значениями, не превышающими веса лыжника.

В работе раскрыто терминологическое определение баланса. Показана в подвижной системе координат, связанной с ЦМ спортсмена механика возникновения отклонений от условия равновесия, формирующих определенный диапазон. Показана связь и зависимость диапазона отклонений, энергетических затрат спортсмена и скольжение лыж.

Таким образом, в горнолыжном спортивном повороте можно выделить два принципиально отличающихся участка антипода: участок ведения дуги при огибании флага с максимальными опорными реакциями в состоянии относительного динамического равновесия и участок перехода между дугами с отсутствием равновесия с минимальными опорными реакциями или с их полным отсутствием.

Учитывая сложившуюся терминологию в горнолыжной среде, в горнолыжном повороте можно выделить две основные фазы: фазу загрузки, участок ведения дуги при огибании флага в состоянии относительного динамического равновесия, и фазу разгрузки, участок перехода между дугами с отсутствием равновесия.

Работа имеет важное методическое значение, так как ее вывод о необходимости выполнения поворота в динамическом относительном равновесии и стремлении спортсмена к принятию в повороте стойки наиболее близкой к положению равновесия, позволяет более акцентировано направить горнолыжные тренировки и обучение выполнению поворотов с условием равновесия.

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Библиографический список

1. Гилев Г.А., Леготин С.Д., Ривлин А.А. Основная стойка горнолыжника и анализ условий ее выполнения с позиции биомеханики // Учёные записки университета им. П. Ф. Лесгафта. 2019. № 10 (176). С. 94-99.
2. Леготин С.Д., Ривлин А.А., Данилин В.И. Механика горных лыж: резаный поворот без ангуляции // Инженерный журнал: наука и инновации. 2017. Вып. 7. URL: <http://engjournal.ru/catalog/mech/dsmi/1632.html>. DOI: 10.18698/2308-6033-2017-7-1632.
3. Леготин С.Д., Ривлин А.А. Оценка предельных углов ангуляции спортсмена горнолыжника с использованием разработанного специализированного антропометрического стенда // Экстремальная деятельность человека. 2018. № 3 (49). С. 27-31.
4. Леготин С.Д., Обносков К.Б., Ривлин А.А. Механика горных лыж: поворот с боковым проскальзыванием и вибрацией на карвинговых лыжах // Российский журнал биомеханики. 2022. Т. 26. №3. С. 29-44.
5. Леготин С.Д., Ривлин А.А. Механика горнолыжного поворота с боковым проскальзыванием // Фундаментальные и прикладные задачи механики. Материалы Международной научной конференции. В 2-х ч. Ч. 1. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. С. 68-73.
6. Курс теоретической механики. Под редакцией К.С. Колесникова, 2017, 5-е изд. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. 580 с.
7. Ривлин А.А., Леготин С.Д. Ангуляция как основа динамической стойки спортсмена-горнолыжника // Культура физическая и здоровье. 2018. № 1 (65). С. 63-69.
8. Ривлин А.А., Леготин С.Д., Умрюхин Е.А. Центральная стойка – основа горнолыжной техники // Культура физическая и здоровье. 2018. № 3 (67). С. 44-49.
9. Физиология человека : в 3-х т. / под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. – Т. 1. М. : Мир, 2005. 323 с.
10. Legotin S.D., Rivlin A.A. Mechanics of stability's loss in the skiing turning. Journal of Physics: Conference Series (JPCS). 2019. 1301 (2019) 012020 DOI: 10.1088/1742-6596/1301/1/012020.
11. Legotin S.D., Rivlin A.A. MECHANICS OF STABILITY'S LOSS IN THE SKIING TURNING // Journal of Physics: Conference Series. Ser. "International Meeting – Fundamental and Applied Problems of Mechanics" 2019. С. 012020.
12. Legotin S.D., Obnosov K.B., Rivlin A.A. MECHANICS OF ALPINE SKIING: CARVE TURN WITH ANGULATION // Journal of Physics: Conference Series. Ser. "Fundamental and Applied Problems of Mechanics, FAPM 2019" 2020. С. 012034.
13. Reid R (2010) A kinematic and kinetic study of alpine skiing technique in slalom. Ph.D. dissertation, Norwegian School of Sport Sciences. URL: <https://nih.brage.unit.no/nih-xmlui/handle/11250/171325> (дата обращения: 09.06.2023).

References

1. Gilev G.A., Legotin S.D., Rivlin A.A. The main stand of the skier and the analysis of its performance conditions from the perspective of biomechanics. Scientific notes of the P. F. Lesgaft University. 2019. No. 10 (176), pp. 94-99.
2. Legotin, S. D. Mechanics of skiing: Reza-tion turn with no angulation. S. D. Legotin, A. A. Rivlin, V. I. Danilin. Engineering journal: science and innovation. 2017. Issue. 7. Available from: <http://engjournal.ru/catalog/mech/dsmi/1632.html>. doi: 10.18698/2308-6033-2017-7-1632.
3. Legotin S.D., Rivlin A.A. Evaluation of the extreme angles of angulation of an alpine skier athlete using a developed specialized anthropometric stand. Extreme human activity. 2018. No. 3 (49), pp. 27-31.
4. Legotin S.D., Obnosov K.B., Rivlin A.A. MECHANICS OF ALPINE SKIING: a repeat with lateral slippage and vibration on carving skis. Russian Journal of Biomechanics. 2022. Vol. 26. No. 3, pp. 29-44.
5. Legotin S.D., Rivlin A.A. Mechanics of alpine skiing turn with lateral slippage. Fundamental and applied problems of mechanics. Materials of the International Scientific Conference. In 2 parts. Part 1. Moscow, Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2021. pp. 68-73.
6. Course of theoretical mechanics. Edited by K. S. Kolesnikov. 5th ed. Moscow, Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2017. - 580 p.
7. Rivlin, A. A. Angulation as the basis of the dynastic stand of a skier. A. A. Rivlin, S. D. Legotin. Physical Culture and Health. 2018. No. 1, pp. 63-69.
8. Rivlin A.A., Legotin S.D., Umryukhin E.A. Central position as the basis of alpine skiing. Physical culture and health. 2018. No. 3 (67), pp. 44-49.
9. Human physiology: in 3 volumes / ed. by R. Schmidt and G. Tevs. Vol. 1. Moscow, Mir publ., 2005. 323 p.
10. Legotin S.D., Rivlin A.A. Mechanics of stability's loss in the skiing turning Journal of Physics: Conference Series (JPCS) 2019 1301 (2019) 012020 DOI:10.1088/1742-6596/1301/1/012020.
11. = Legotin S.D., Rivlin A.A. MECHANICS OF STABILITY'S LOSS IN THE SKIING TURNING. Journal of Physics: = Conference Series. Series "International Meeting – Fundamental and Applied Problems of Mechanics", 2019. P. 012020.
12. = Legotin S.D., Obnosov K.B., Rivlin A.A. MECHANICS OF ALPINE SKIING: CARVE TURN WITH ANGULATION. Journal of Physics: Conference Series. Series "Fundamental and Applied Problems of Mechanics, FAPM 2019" 2020. P. 012034.
13. Reid R (2010) A kinematic and kinetic study of alpine skiing technique in slalom. PhD dissertation, Norwegian School of Sport Sciences. <https://nih.brage.unit.no/nih-xmlui/handle/11250/171325> [Accessed 9 June 2023].

Поступила в редакцию 13.06.2023
Подписана в печать 28.12.2023

Original article
UDC 796.015.12, 796.012.4, 796.012.5
DOI: 10.47438/1999-3455_2023_4_277

ABOUT BALANCE AND DISEQUILIBRIUM IN THE ALPINE SKIING TURN

Alexander A. Rivlin ¹, Sergey D. Legotin ²

*Training center of the Russian Alpine Skiing and Snowboard Federation ^{1, 2B}
Moscow, Russia
Moscow State Technical University named after N. E. Bauman ^{2A}
Moscow, Russia*

¹ Teacher

ph.: +7(926)877-32-46, e-mail: alriv@inbox.ru

ORCID 0009-0008-3172-8789

^{2A} PhD of Engineering, Associate Professor of the Department of Theoretical Mechanics
^{2B} Instructor 1st category

Abstract. The article considers the dynamics of the alpine skiing turn with the allocation of dynamically differing sections in the context of the equilibrium condition in three aspects: mechanical, physiological, methodological.

In order to control the trajectory and in order to minimize energy costs, the athlete performs turns in relative dynamic equilibrium, striving to take a stance satisfying the equilibrium condition when performing turns.

The equilibrium of biomechanical systems may be either unstable or on the verge of stability, in contrast to stationary equilibrium systems. The state of equilibrium when performing turns is accompanied by chaotic deviations of the resultant support reactions from the center of mass, which the athlete levels with his fine motor skills.

An athlete needs to get out of a state of equilibrium in order to exit a turn and move to the next one.

Taking into account the movement of the athlete in the turn with the support of two skis and with the location of the resultant support reactions on the segment between the boots, the skier has a state with signs of stable equilibrium.

The article analyzes the readings of sensor systems installed on highly qualified athletes during the passage of a sports track. The readings of the sensor systems demonstrate certain identical algorithms for changing the athletes' stance in turns, which indicates the control of the stance and trajectory. To control the stance and trajectory, the athlete must take into account, monitor, and evaluate the external force effect, which is possible in the position closest to equilibrium. In an unbalanced position, it is impossible to control the external force effect.

Keywords: alpine skiing, sports, biomechanics, equilibrium condition, balance, slalom, methodology, science, training, physiology, rotation, loading, unloading, phases, trajectory.

Cite as: Rivlin, A. A., Legotin, S. D. (2023) About balance and disequilibrium in the alpine skiing turn. *Physical Culture and Health*. (4), 277-286. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.47438/1999-3455_2023_4_277.

Received 13.06.2023

Accepted 28.12.2023