https://suspilne.media/398714-zitta-vijskovih-pisla-poranen-zminuetsa-nazavzdi-intervu-zi-spivzasnovnikom-reabilitacijnogo-centru/ [in Ukrainian].

11. Kruk, I. M., Hryhus, I. M. (2022). Fizychna terapiia viiskovosluzhbovtsiv z naslidkamy vohnepalnykh poranen [Physical therapy of military personnel with the consequences of gunshot wounds] (n.d.). health.nuwm.edu.ua. URL: https://health.nuwm.edu.ua/index.php/rehabilitation/article/view/246/212 [in Ukrainian].

DOI: https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2024.4(177).35
УДК 796.9.531/534

Топорков О. М.
кандидат наук з фізичного виховання та спорту, доцент кафедри
Харківська державна академія фізичної культури, м. Харків
https://orcid.org/0000-0002-8949-9893
Гриньова Т. І.
кандидат наук з фізичного виховання та спорту, доцент
Харківська державна академія фізичної культури, м. Харків
https://orcid.org/0000-0002-8768-0672

БІОМЕХАНІКА ГІРСЬКОЛИЖНОГО СПОРТУ ТА СИЛИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА НЕЇ

Стаття присвячена комплексному аналізу рухових аспектів та механіки, що впливають на спортсменів в гірськолижному спорті. В статті розглянуто біомеханіку гірськолижного спорту, її особливості та основні сили, які діють на спортсмена під час подолання гірськолижної траси. Також у статті розглянута деяка специфічна термінологія гірськолижного спорту, яка тісно пов'язана з біомеханікою рухових дій та впливом фізичних сил на спортсмена. Дослідження важливе для тренування та підготовки спортсменів, де аналіз біомеханіки рухів дозволяє оптимізувати техніку катання та мінімізувати ризик травмувань. Розуміння цих аспектів сприяє покращенню стратегій тренувань та розвитку більш ефективних методів вдосконалення навичок гірськолижного спорту. Результати досліджень можуть сприяти вдосконаленню технічної підготовки спортсменів та розробці більш ефективних методів тренувань для досягнення успіхів у гірськолижному спорті.

Ключові слова: *біомеханіка спорту, гірськолижник, лижі, рух, сніг, сили впливу, схил, поворот, кут, нахил.*

Oleksandr Toporkov, Tetiana Grynova. **Biomechanics of alpine skiing and the forces that affect it.** The result in alpine *skiing depends on the interaction of the athlete's body and equipment with the snow. Therefore, to get the best results, you need to use the equipment in such a way as to get the necessary reaction from the snow, because turns and braking occur due to the impact of snow on the skis. At the same time, the athlete must constantly remain in balance to avoid falls. Therefore, the aim of the study was to investigate the biomechanical apparatus of an alpine skier and the main forces that act on him during the passage of the track. To achieve this goal, the method of theoretical analysis and generalization of scientific and methodological literature was used. This paper provides a comprehensive analysis of the motor aspects and mechanics that affect athletes in alpine skiing. The article discusses the biomechanics of alpine skiing, its features and the main forces that act on an athlete while overcoming a ski slope. The article also discusses some specific terminology of skiing, which is closely related to the biomechanics of motor actions and the impact of physical forces on the athlete. Another crucial aspect of success in skiing is feeling. This article discusses the problem of using the information of sensations in skiers, obtained through musculo-articular channels and tactile senses of the athlete, the sense of time to assess the quality of downhill control. The study is important for training and preparation of athletes, where the analysis of biomechanics of movements allows to optimize the skiing technique and minimize the risk of injury. Understanding of these aspects helps to improve training strategies and develop more effective methods for improving skiing skills. The results of the research can contribute to the improvement of technique in amateur skiing, the improvement of technical training of athletes and the development of more effective training methods for achieving success in alpine skiing.*

Key words: *biomechanics of sport, skier, ski, movement, snow, forces, slope, turn, angle, inclination.*

Постановка проблеми. Катання на гірських лижах – це взаємодія тіла спортсмена і спорядження зі снігом. Але для того, щоб катання проходило за задуманим планом, необхідно використовувати спорядження таким чином, щоб отримати необхідну реакцію від снігу. Будь-яка зміна напрямку руху або гальмування відбувається від впливу снігу на лижі. При цьому необхідно володіти своїм тілом такою мірою, щоб постійно залишатися в рівновазі, заради уникнення падіння.

Гірськолижний спорт висуває складні рухові завдання під час спуску спортсмена на лижах унаслідок необхідності збереження ним рівноваги на ковзній опорі, руху загального центру мас системи "лижі-людина" за криволінійними траєкторіями змінного радіусу в умовах дефіциту часу, різного рельєфу схилу і непостійного стану снігу. За врахування всіх цих умов гірськолижник повинен під час спусків формувати спеціальну систему рухових дій. Таку систему зазвичай називають технікою виду спорту і її досконалість визначає можливості легкого, витонченого, впевненого спуску на лижах без трас або розміченими трасами із завданням розвитку максимальної швидкості. Така видима система дій є предметом вивчення техніки найсильніших спортсменів світу [2, 9, 17].

Зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконувалося відповідно до ініціативної теми науково-дослідної роботи кафедри зимових видів спорту, велоспорту та туризму Харківської державної

академії фізичної культури за назвою «Оптимізація тренувального процесу в циклічних та екстремальних видах спорту» на 2019-2023 рр. (номер державної реєстрації 0119U100439) та на 2024-2028 рр. (номер державної реєстрації 0124U000269).

Мета та завдання дослідження. Дослідити біомеханічний апарат спортсмена-гірськолижника та основні сили, які діють на нього під час проходження траси.

Методи дослідження. Для вирішення поставленої мети використовувався метод теоретичного аналізу та узагальнення науково-методичної літератури.

Виклад основного матеріалу дослідження. Біомеханіка спорту (спортивна біомеханіка) – розділ біомеханіки, в якому вивчають роботу біомеханічного апарату спортсмена, взаємодію його з навколишнім середовищем (сніговий схил, траса, сніг), спортивним інвентарем, механізмами. Біомеханічні проблеми гірськолижного спорту постійно привертають увагу дослідників, у публікаціях останніх років гірськолижника моделюють у вигляді досить складної стрижневої системи. Однак багато ефектів, що виникають під час проходження слаломної траси, можна дослідити на простіших моделях гірськолижника.

Механіка – розділ фізики, який вивчає рух матеріальних тіл та взаємодію між ними.

Для поліпшення рівня катання гірськолижнику необхідно навчитися взаємодіяти із зовнішніми силами, які чинять на нього постійний вплив [3, 6, 7, 18].

До зовнішніх сил, що впливають на гірськолижника, належать:

– сила гравітації (людину притягує до землі і на цю силу впливати неможливо);

– сила тертя між ковзною поверхнею лиж і снігом (на цю силу в гірськолижному спорті чиниться активний вплив у процесі підготовки лиж, а також завдяки використанню парафінів, емульсій, прискорювачів для зменшення сили тертя і поліпшення ковзання).

– сила опору повітря (протидіяти цій силі можливо завдяки прийняттю аеродинамічних стійок під час спусків, а в спорті вищих досягнень, ще й завдяки обтислим комбінезонам і обтічним шоломам).

Центр мас гірськолижника – точка, до якої умовно прикладаються усі сили, що діють на нього.

Також важливо сказати про таке поняття, як імпульс.

Імпульсом або вектором кількості руху в класичній механіці називається міра механічного руху тіла, векторна величина, що для матеріальної точки дорівнює добутку маси точки на її швидкість та має напрямок швидкості.

$p = m \times v$, де m – маса тіла;

Стосовно гірськолижника, імпульс – тіло продовжуватиме рух, поки на нього не подіє зовнішня сила (рис. 1).

F_1, F_2, F_3 – сили, які діють на гірськолижника під час спуску.

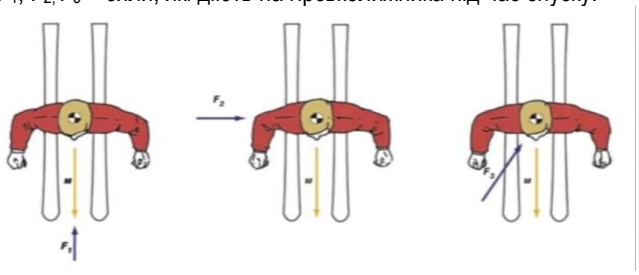

Рис. 1. Сили, що діють на гірськолижника

Сили та імпульси мають напрямки (рис. 1).

Зниження швидкості – зниження величини імпульсу.

Усвідомлену зміну напрямку руху (імпульсу), в гірських лижах, прийнято називати – поворотом.

Для того, щоб під час руху гірськолижника відбувалися необхідні дії (повороти, гальмування, ангуляції тощо), необхідно отримати якусь силу від взаємодії лиж зі снігом. Такими силами можуть бути:

– сила тертя, яка впливає на швидкість;

– стан снігу, який має різну структуру, у зв'язку з чим він по-різному реагує на тиск лиж гірськолижника;

– сила реакції опори (снігового покриття) впливає на лижі. Коли сніг стискається, під лижами утворюється певна платформа, яка впливає на гірськолижника силою реакції опори;

– сила реакції снігового покриття, яка завжди перпендикулярна до лижі (рис. 2);

Рис. 2. Сила реакції опори

Сила реакції опори завжди перпендикулярна до зовнішньої лижі гірськолижника (показано стрілками на малюнку) і ця сила змушує його повертати, точніше сказати, гірськолижник ставить лижі в таке становище, щоб ця сила допомогла йому правильно увійти в поворот.

– сила реакції снігового покриву спрямована у зворотному напрямку і має таку саму величину [1, 9, 11].

Під час катання на гірських лижах у гірськолижника немає жодних приладів, які можуть виміряти ці сили, тому єдиний інструмент гірськолижника – відчуття, як добре він відчуває дію цих сил і як добре з ними взаємодіє. Спортсмени світового класу, тим і відрізняються від просунутих гірськолижників і ще більше від любителів, що можуть відчувати та працювати зі зміною цих сил, які постійно змінюються (крутизна поворотів, кут схилу, структура снігу тощо). Тобто, відчуття – єдиний інструмент гірськолижника.

Відцентрова сила. Існує тільки для того, хто її відчуває. Якщо один гірськолижник просто стоїть на схилі, а інший їде повз поворот, то для першого відцентрової сили не існує, оскільки він просто стоїть, а для другого ця сила реальна і вона втискає спортсмена в лижі.

Відцентрова сила виникає під час повороту та є результатом дії інших зовнішніх сил. Спрямована вона з центру повороту і намагається видавити спортсмена з повороту, але її у свою чергу врівноважує доцентрова сила (прискорення), яка намагається спортсмена в цей поворот перекинути (рис. 3).

Рис. 3. Відцентрова та доцентрова сили

Залежить відцентрова сила від швидкості, ваги спортсмена та радіусу повороту. На малюнку видно, як два велосипедисти, приблизно однієї статури та маси, входять у поворот. Один із спортсменів входить у поворот за меншим радіусом і для того, щоб урівноважити дію відцентрової сили, йому доводиться сильніше нахилятися, щоб ця сила не видавила його з повороту.

Тобто, чим вище відцентрова сила, то сильніше нахил у поворот.

Результуюча сила (R) – складання всіх сил, що діють на гірськолижника (рис. 4).

На рисунку 4 на гірськолижника діє гравітаційна сила G, відцентрова сила C. Результуюча сила R спрямована чітко в кант зовнішньої лижі з чого можна зробити висновок – спортсмен їде добре. У відповідь на цю результуючу силу діє результуюча сила від траси S, яка спрямована назустріч і має таку саму величину. Якщо всі ці сили збігаються, то гірськолижник робить все технічно правильно і повністю володіє своїм тілом, а відповідно і ситуацією. Якщо якісь величини сил не збігаються, то спортсмен починає втрачати рівновагу.

Рис. 4. Результуюча сила

Інклінація – нахил у поворот повинен збігатися з напрямком результуючої сили. Чим більший нахил у повороті, тим зовнішні сили набувають більшого значення. На змаганнях рівня World Cup при куті кантування лижі в 60 градусів, навантаження досягають 2G, а спортсмени екстра класу досягають і більшої інклінації. Тому фізична підготовка має велике значення у підготовці гірськолижника. При подвійному навантаженні, дві ваги спортсмена діють фактично на одну ногу.

Крутний момент або момент сили, викликає обертальний рух тіла навколо центру маси чи якоїсь осі. Виникає момент, що крутить, який викликає кутовий момент, аналог імпульсу для обертальних рухів. Цей кутовий момент також виникає під впливом зовнішніх сил, тому що сам собою він виникнути не може. На рисунку 5 видно, що гірськолижник йдучи з трампліну, заздалегідь починає закручуватися, щоб відштовхнутися від трампліну з якимось обертанням до виконання акробатичного елементу.

Рис. 5. Крутний момент

Рівновага. Рівновага – результуюча всіх діючих на гірськолижника сил проходить через площу опори. На рисунку 6а сноубордист знаходиться в балансі, виконуючи елемент на перилах, у гірськолижника з рисунку 6б результуюча сила не потрапляє в площу опори, в результаті виникає крутний момент, який перекидає його на сніг. Результат втрати рівноваги (рис. 6в).

Рис. 6а. Рівновага Рис. 6б, 6в. Втрата рівноваги

Під час катання на лижах неможливо весь час перебувати в ідеальній рівновазі, але треба до цього прагнути. Іноді, для досягнення результату необхідно навмисне вийти зі стану рівноваги. Наприклад, у поворотах великого радіусу гірськолижник використовує прийом – навмисно через внутрішню лижу починає валитися в поворот (контрольоване падіння), але в потрібний момент знаходить рівновагу на зовнішній лижі і на ній йде в поворот. Вміння виходити з рівноваги та повертатися до неї відрізняє професіонала від звичайного гірськолижника [3, 12].

Три кути. Дія на гірськолижника зовнішніх сил залежить від трьох кутів.

Кут платформи – кут між тиском у лижу (результуюча зовнішніх сил) та платформою, яку лижа вирізає у снігу. Кут платформи визначає, буде лижа зісковзувати чи ні; рис. 7а – лижа стоїть поперек схилу і на неї діє сила гравітації, але кут становить більше 90 градусів, через що лижа зісковзуватиме. Тому іноді дуже складно надіти лижу на схилі, через її зісковзування. Щоб цього не відбувалося, необхідно вирубати черевиком або іншою лижою платформу на схилі. На рисунку 7б показано, як гірськолижник вирізає собі лижою платформу і спирається на неї, а кут становить 90 градусів. Важливо також пам'ятати, що на жорсткому снігу важлива концентрація тиску в лижу, а коли вага в повороті на двох лижах – зовнішня зісковзує.

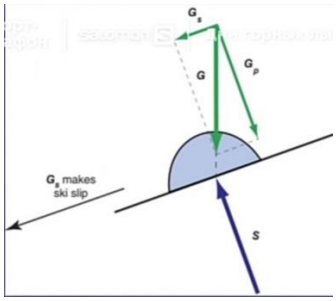

Рис. 7а. Кут платформи більше 90° Рис.7б. Кут платформи 90°

Кут атаки – кут між напрямком руху та напрямком носка лижі. Кут атаки змушує гірськолижника змінювати напрямок руху. Змінюючи кут атаки, гірськолижник змінює співвідношення гальмування та повороту. Кут атаки створюється: прогином, обертанням та геометрією лижі (рис. 8а).

Кут закантування. Закантована лижа повертає сама. Сучасна карвінгова лижа, навіть якщо трохи поставлена на кант, починає повертати сама. Це відбувається тому, що носок лижі спрямований трохи в бік від напрямку руху (жовта лінія рис. 8а) і коли гірськолижник ставить її на кант, виникає кут атаки, який змушує лижу змінювати напрямок руху. Сучасні лижі, особливо слаломні, мають набагато ширший носок і п'яту ніж середина, і при великих кутах закантування за рахунок тиску на прогин лижа починає вирізати дугоподібний слід повороту. Чим більший кут закантування, тим менше радіус повороту, тим швидше лижі повертають (рис. 8б). Цим можна регулювати швидкість проходження повороту.

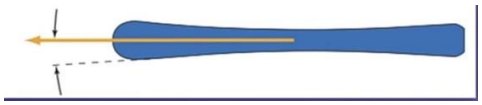

Рис. 8а. Кут атаки

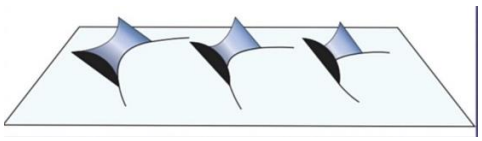

Рис. 8б. Кут закантовки

Завжди треба пам'ятати, що носок лижі має більший кут атаки; при великих кутах закантування виникає зворотний прогин; чим більше кут закантовки, тим більший зворотний прогин.

Карвінг та прослизання. Карвінг – повороти без прослизання та рулювання. Чистими, тобто карвінговими поворотами проходити трасу практично неможливо, виняток становлять «зелені» та «сині» траси, досить широкі та дуже пологі. Під час подолання гірськолижної траси, майже весь час виникають моменти коли п'ята лижі повертає швидше носка і лижа прослизає. В цей момент лижа рухається боком і тому гірше поглинає нерівності траси. Але зі зростанням майстерності, карвінгові повороти стають кращими, а лижі прослизають менше, відповідно радіус повороту визначається зворотним прогином (рис. 9а, 9б).

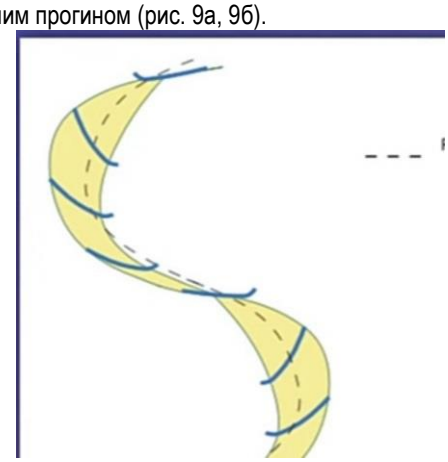

Рис. 9а. Переривчаста лінія – напрямок руху центру мас

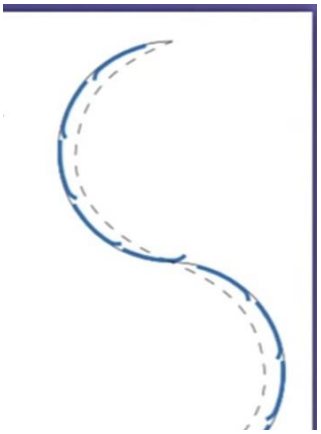

Рис. 9б. Дуга чистого карвінгового повороту

Виходячи з цього можна зробити деякі проміжні висновки: якщо лижа закантована, збільшення кута закантування зменшить радіус повороту; зменшення кута закантування збільшує радіус повороту; лижу з малим кутом закантування або в легкому контакті зі снігом можна обертати; зміщення тиску вперед з малим кутом закантування збільшує прослизання; зміщення тиску назад з малим кутом закантування призводить до зісковзування; зміщення тиску вперед у карвінгу зменшує радіус повороту, але може призвести до зриву п'ят; зміщення тиску назад в карвінгу збільшить радіус повороту.

Фази повороту у різних методиках мають різні назви. Розглянемо ці фази:

- вхід у поворот (ініціація); створюється кут атаки, центр мас зміщується всередину повороту, щоб створити інклінацію (нахил в поворот);
- головна фаза; найкоротша, де, власне, і відбувається сам поворот;
- вихід з повороту; гірськолижник починає готуватись до наступного повороту, починає розкантовувати лижі, повертає центр мас у положення над лижами;
- транзит, коли траєкторія руху центру мас перетинається з траєкторією руху лиж. У фазі транзиту лижі «плоскі», центр мас над ними, далі вони знову розходяться перед входом до наступного повороту (рис.10, 11) [5, 8, 14, 15, 19, 20, 21].

Рис. 10. Фази повороту

Рис.11. Траєкторія руху центру мас – жовта лінія (верхня), траєкторія руху лиж – зелена

Стійка гірськолижника – розташування частин тіла щодо один одного та зовнішніх сил. Гірськолижник повинен знаходитися у так званій атлетичній позиції (atletic posishon), щоб у будь-який момент мати змогу здійснити необхідні рухи. В цей час тулуб розташований вздовж осі балансу (результуюча сила проходить через центр мас та стопи), нижня і верхня частини тіла працюють незалежно (один із основних принципів, як правило – корпус стабільний, ноги мобільні), ноги працюють незалежно, можливість діяти та реагувати з нейтральної позиції.

На рисунку 12 два гірськолижника проходять одне й те саме місце на трасі. На лівому зображенні все добре, є вихід із рівноваги, але потім повернення назад. На нижньому – гомілка працює неправильно з самого початку. Гомілка відхилена назад. Цьому може бути низка причин: слабкі м'язи гомілки, неправильно підібрані черевики (занадто жорсткі), або невідповідний кут нахилу язика черевика [1, 11, 13,15].

На рисунку 13 а, б зображено неправильну стійку – вихід за вісь балансу, 13 в – правильна стійка.

Рис. 12. Стійки під час спуску

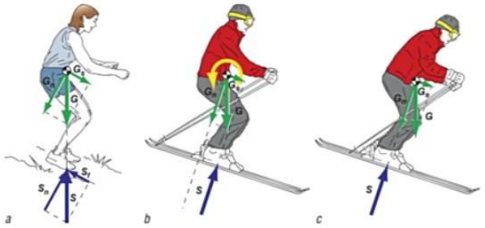

Рис. 13 а, б, в – стійки гірськолижника

Згинання-розгинання (рис. 14): надп'ятково-гомілкові суглоби дуже обмежені в русі і практично все навантаження припадає на колінні суглоби. Це робиться для контролю дії зовнішніх сил; збереження балансу; збереження контакту зі сніговим схилом; амортизації; обробці віртуального бугра; збільшення рухливості; розвантаження та завантаження.

Рис.14. Згинання-розгинання

Можна ще працювати тулубом, орієнтуючись на те, що кут нахилу гомілки приблизно дорівнює куту нахилу тулуба, але це не завжди вірно (наприклад при швидкісному спуску).

Обертання. Зазвичай обертання використовується для контролю швидкості та контролю радіусу повороту. У гігантському слаломі, наприклад, радіус повороту чоловічої лижі становить 30 метрів, а ворота стоять набагато ближче. Тому дуже широко на трасі використовують елементи обертання (рис. 15). Обертання, як правило, здійснюється у кульшовому суглобі. Обертання також можна досягти за рахунок уколу палкою. Блокуючий укол – палиця жорстко встромляється в сніг і гірськолижника починає обертати за рахунок виникнення крутного моменту (рис. 16). Обертання корпусу (ротація). Поворот починається з обертання плечей або тазу, намагаючись таким рухом змусити лижі повертати. Так катаються 70-80 відсотків любителів. Контр-ротація – різкий розворот лиж поперек схилу та гальмування, так звана хокейна зупинка (рис. 17).

Рис. 15. Обертання

Рис. 16. Укол

Рис. 17. Контр-ротація

Кантування. Починати кантування треба зі стопи. Вважається, що стопи малорухливі, але навіть невеликі рухи стопою, натискання великими пальцями ніг змушують лижі змінювати траєкторію руху. Основне завдання – передати через стопи зусилля. Тому стопа повинна працювати. Кантування можна зробити також через інклінацію – сильний нахил корпусу в поворот. Це можна робити на великих швидкостях, але треба вміти це робити. Ще є прийом ангуляція – кутове положення частин тіла. Ангуляція буває стегновою чи колінною. Суть елемента – у згинанні корпусу або коліна у поперечному напрямку для отримання більшого кута закантування. Таке згинання дозволяє утримуючи корпус рівно, швидко прокидаючи ноги під собою, отримувати великий кут закантування лиж і досягати швидкої зміни поворотів (рис. 18) [3; 4; 8; 9;16].

Рис. 18. Кантування

Зовнішня лижа (рис. 19). Майже всі інструктори вчать стояти під час спуску більше на зовнішній лижі, тиснути на зовнішню. Це відбувається тому, що на зовнішній лижі простіше балансувати, вона краще тримає на твердій трасі за рахунок ефекту кута платформи і це більш природньо.

Внутрішня лижа – «запасна», якщо зірвало зовнішню лижу, є можливість виїхати на внутрішній. Але, це не зовсім так, їхати треба на обох лижах. Внутрішня лижа допомагає стабілізації тазу та стегон, застосовується, як опора на початку повороту – "падіння" в новий поворот відбувається саме через внутрішню лижу, підтримує при великих кутах (рис. 20).

Рис. 19. Зовнішня лижа

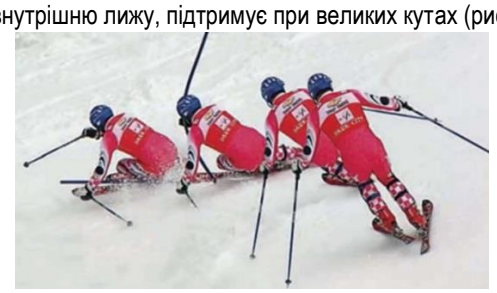
Рис. 20. Внутрішня лижа

Руки. Руки гірськолижника мають бути спокійними. Безглузді та хаотичні рухи руками, виводять гірськолижника зі стану рівноваги. У спорті високих досягнень руки використовуються спортсменами світового рівня як третя точка опори при великих кутах закантування (рис. 21). В інших випадках руки дозволяють зберігати стабільний корпус та виконувати уколи палками для створення обертання під час входу в поворот [2, 10, 14, 15, 17, 21].

Рис. 21. Робота рук

Висновки. Усім любителям гірських лиж, а особливо спортсменам необхідно навчитися кататися у так званій сильній позиції (strong position), позиції, коли гірськолижник вміє оптимально передавати зусилля на свої лижі, суглоби знаходяться в єдиному ланцюгу один над одним, наприклад, при будь-яких нахилах, надп'ятково-гомілковий, колінний та плечовий суглоб знаходяться в одній лінії, також включені усі кінетичні ланцюги для ефективної передачі зусиль, погляд спрямований у цільову точку. Також, вкрай необхідно навчитися використовувати на свою користь вплив зовнішніх сил, що суттєво вплине на покращення техніки в любительському катанні та значному росту результатів в гірськолижному спорті.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку полягають у дослідженні (аналізі) біомеханіки рухових дій та впливу фізичних сил на спортсмена сноубордиста під час подолання слаломних та кросових дистанцій в сноубордингу.

References:

1.Gosselin P., Truong J., Chapdelaine C., Guilbert J.-S., St-Pierre E., Trahan X., Desbiens A. Effect of edged snow contact on the vibration of alpine skis // Sports Engineering. 2021. Vol. 24. Article no. 26. DOI: 10.1007/s12283-021- 00363-0.

2.Hirano Y. Quickest descent line during alpine ski racing // Sports Engineering. 2006. Vol. 9, no. 4. P. 221–228. DOI: 10.1007/BF02866060.

3.Howe J. Skiing mechanics. Laporte: Poudre Press, 1983. 168 p.

4.Kietzig A.M., Hatzikiriakos S., Englezos P. Physics of ice friction // Journal of Applied Physics. 2010. Vol. 197, no. 8. P. 081101–081101-15. DOI: 10.1063/1.3340792.

5.Komissarov S.S. Balanced carving turns in alpine skiing // Sports Biomechanics. 2020. DOI: 10.1080/14763141.2020.1795236.

6.Komissarov S.S. Mechanics of side-slipping in alpine skiing. Braking and skidded traversing // Sports Engineering. 2021. Vol. 24. DOI: 10.1007/s12283-021-00357-y.

7.Komissarov S.S. Mechanics of side-slipping in alpine skiing: theory of machining snow and ice // Sports Engineering. 2021. Vol. 24. DOI: 10.1007/s12283-021-00340-7.

8.Legotin S.D., Rivlin A.A. Mechanics of stability's loss in the skiing turning // Journal of Physics: Conference Series (JPCS). 2019. Vol. 1301, no. 1. DOI: 10.1088/1742- 6596/1301/1/012020.

9.Legotin S.D., Rivlin A.A., Obnosov K.B. Mechanics of alpine skiing: carve turn with angulation // Journal of Physics: Conference Series (JPCS). 2020. Vol. 1705, no. 1. Article no. 012034. DOI: 10.1088/1742-6596/1705/1/012034.

10. Lind D., Sanders S. The physics of skiing: skiing at the triple point. 2 ed. New York: Springer-Verlag, 1996. 270 p.

11. Nachbauer W., Rauch A. Biomechanische Analysen der Torlauf und Riesentorlauftechnik // Biomechanik der Sportarten. Band 2, Biomechanik des alpinen Skilaufs, Stuttgart, Enke Verlag, 50-100, 1991.

12. Nordt A., Springer G., Kollar, L. Simulation of a turn on alpine skis // Sports Engineering. 1999. Vol. 2. P. 181–199. DOI: https://doi.org/10.1046/j.1460-2687.1999.00027.x

13. Reid R. A kinematic and kinetic study of alpine skiing technique in slalom. Ph.D. dissertation. Norgesidrettshøgskole, 2010. 406 p.

14. Reid R., Haugen P., Gilgien M., Kipp R., Smith G. Alpine ski motion characteristics in slalom // Frontiers in Sports and Active Living. 2020. Vol. 2. Article no. 25. DOI: 10.3389/fspor.2020.00025.

15. Ron LeMaster. The Essential Guide to Skiing: 201 Things Every Skier Must Know. Peak Sports Press. 2004. 256 p.

16. Ron LeMaster. The Skier's Edge. Human Kinetics. 1998. 160 p.

17. Ron LeMaster. Ultimate Skiing. Human Kinetics. 2009. 224 p.

18. Tada N., Hirano Y. In search of the mechanics of a turning alpine ski using snow cutting force measurements // Sports Engineering. 2002. Vol. 5. P. 15–22. DOI: 10.1046/j.1460-2687.2002.00092.

19. Takahashi M., Yoneyama T. Instruction of the optimal ski turn motion // The Engineering of Sport 4, edited by S. Ujihashi and S.J. Haake. Blackwell Publishing, 2002. P. 708 – 715.

20. Yoneyama T., Kagawa H., Funahashi N. Study of the effective turn motion using a ski robot // The Engineering of Sport 4, edited by S. Ujihashi and S.J. Haake. Blackwell Publishing. 2002. P. 463 – 469.

21. Yoneyama T., Scott N., Hiroyuki K. Timing of force application and joint angles during a long ski turn // The Engineering of Sport 6, edited by E.F. Moritz and S. Haake. Springer. 2006. Vol. 1. P. 293 – 298.