

NISKI, Szymon, ŻABA, Ziemowit, MILCZEK, Maria, WARZYSZAK, Paweł, ŻOŁYNIAK, Wojciech, TOMASIK, Mikołaj, HAWRANIK, Izabela, MAŁEK, Róża, LISOWSKA, Aleksandra & SKRZYPEK, Mateusz. Knee ligament injuries in alpine skiing - the mechanism of injury and the possibilities of using modern knowledge and technology to prevent injuries in skiing. *Quality in Sport*. 2023;10(1):62-69. eISSN 2450-3118. DOI <https://dx.doi.org/10.12775/QS.2023.10.01.006>  
<https://apcz.umk.pl/QS/article/view/43153>

The journal has had 20 points in Ministry of Education and Science of Poland parametric evaluation. Annex to the announcement of the Minister of Education and Science of December 21, 2021. No. 32582. Has a Journal's Unique Identifier: 201398. Scientific disciplines assigned: Economics and finance (Field of social sciences); Management and Quality Sciences (Field of social sciences). Punkty Ministerialne z 2019 - aktualny rok 20 punktów. Załącznik do komunikatu Ministra Edukacji i Nauki z dnia 21 grudnia 2021 r. Lp. 32582. Posiada Unikatowy Identyfikator Czasopisma: 201398. Przynależność dyscypliny naukowej: Ekonomia i finanse (Dziedzina nauk społecznych); Nauki o zarządzaniu i jakości (Dziedzina nauk społecznych).  
© The Authors 2023;  
This article is published with open access at Licensee Open Journal Systems of Nicolaus Copernicus University in Torun, Poland  
Open Access. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Noncommercial License which permits any noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author (s) and source are credited. This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non commercial license Share alike. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>) which permits unrestricted, non commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited.  
The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this paper.  
Received: 15.03.2023. Revised: 30.03.2023. Accepted: 02.04.2023. Published: 02.04.2023.

## **Knee ligament injuries in alpine skiing - the mechanism of injury and the possibilities of using modern knowledge and technology to prevent injuries in skiing**

Szymon Niski  
szymonniski96@gmail.com  
0000-0001-6295-5783  
<https://orcid.org/0000-0001-6295-5783>  
Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. Najświętszej Maryi Panny w Częstochowie

Ziemowit Żaba  
piast753@gmail.com  
0000-0001-9476-1166  
<https://orcid.org/0000-0001-9476-1166>  
Wojskowy Szpital Kliniczny z Polikliniką SPZOZ w Lublinie

Maria Milczek  
maria@milczek.com  
0000-0002-4204-5632  
<https://orcid.org/0000-0002-4204-5632>  
Wojskowy Szpital Kliniczny z Polikliniką SPZOZ w Lublinie

Paweł Warzyszak  
warzyszakpawel@gmail.com  
0000-0003-2023-7980  
<https://orcid.org/0000-0003-2023-7980>  
Wojskowy Szpital Kliniczny z Polikliniką SPZOZ w Lublinie

Wojciech Żołyński  
wojtesk995@gmail.com  
0000-0002-3709-4018  
<https://orcid.org/0000-0002-3709-4018>  
Centrum Medyczne w Łańcucie Sp.z oo. Ignacego Paderewskiego 5,37-100 Łańcut

Mikołaj Tomasiak  
mikołajt97@gmail.com  
0000-0002-5489-0059  
<https://orcid.org/0000-0002-5489-0059>  
Wojskowy Szpital Kliniczny z Polikliniką SPZOZ w Lublinie

Izabela Hawranik  
hawranik14@gmail.com  
0000-0002-7329-8595  
<https://orcid.org/0000-0002-7329-8595>  
Wojskowy Szpital Kliniczny z Polikliniką SPZOZ w Lublinie

Róża Małek  
rozamalek192@gmail.com  
0000-0003-3606-0067  
<https://orcid.org/0000-0003-3606-0067>  
Wojskowy Szpital Kliniczny z Polikliniką SPZOZ w Lublinie

Aleksandra Lisowska  
alisowska8@wp.pl  
0000-0003-0009-8995  
<https://orcid.org/0000-0003-0009-8995>  
Uniwersytet Medyczny w Lublinie

Mateusz Skrzypek  
mati.skrzypek@gmail.com  
0000-0001-6767-3144  
<https://orcid.org/0000-0001-6767-3144>  
Uniwersytet Rzeszowski, Kolegium Nauk Medycznych

### Abstract

**Introduction:** Over the years, advances in alpine ski equipment such as helmets, bindings, skis and boots have resulted in risk reduction, remodelling of injury patterns and mechanisms. Skiers' injuries are currently about 1 to 5 per 1000 days spent in the snow per athlete. The most common area of the injury is the knee, especially ACL and MCL.

**Purpose of the work:** The purpose of the work is analysis of literature on mechanism of knee ligaments injury and potential prevention intervention in alpine skiing.

**Methods and materials:** The present study was based on available data collected in the PubMed and Google Scholar database. The study was conducted by reviewing keywords such as: "alpine skiing", "ski bindings", "alpine skiing injuries", "ACL".

**Results:** Taking into consideration less advanced skiers, we can distinguish three types of injury mechanism: valgus-external rotation sequence, boot-induced anterior drawer mechanism and phantom-foot mechanism. Three mechanisms have been described for professional skiers: slip-catch, landing back-weighted and dynamic snowplow. Female skiers have a higher risk of ACL injury than male skiers.

**Conclusion:** Most of the described injury mechanisms are linked with no releasing of bindings. The future injury prevention should concentrate on injury mechanisms using electronic sensors placed at skiers equipment. New micro-electronic technologies can help create mechatronic ski bindings.

**Keywords:** alpine skiing, ski bindings, alpine skiing injuries, ACL

### Wprowadzenie:

Narciarstwo sięga najdawniejszych czasów, według rysunków w jaskiniach znalezionych na Półwyspie Skandynawskim historia nart może zaczynać się aż 7000 lat temu. Rozwój tego procesu przez jaskiniowców był zdeterminowany koniecznością zdobywania pożywienia i polowania w polarnym i subpolarnym środowisku krajów nordyckich. Najstarsze narty znaleziono na bagnach w Szwecji, ich ślad węglowy pochodzi sprzed 4500 lat. Za pioniera narciarstwa alpejskiego znanego nam współcześnie uznaje się austriaka Mathiasa Zdarsk'iego. Opracował on technikę umożliwiającą zjazd po bardziej stromych zboczach, a w konsekwencji osiągnięcie wyższych prędkości [1]. Pierwsze mistrzostwa świata odbyły się w 1931 roku [2].

Urazy więzadłowe kolana są najczęstszymi urazami kończyn dolnych u narciarzy, zwykle wynikającymi z obciążenia koślawego z rotacją wewnętrzną [3]. W badaniu przeprowadzonym w Tyrolu (Austria) dotyczącym urazów doznawanych na stokach narciarskich tego regionu centrum dyspozytorskie otrzymało dane o 10,143 pacjentach. Najczęściej kontuzjowanym obszarem było kolano (30,2%), następnie bark (12,9%), podudzie (9,5%) i głowa/czaszka (9,5%) [4]. W przeciągu kilku ostatnich dekad doszło do obniżenia współczynnika urazowości w narciarstwie alpejskim jak i przemodelowania struktury epidemiologicznej tych zdarzeń. Wpływ na to miało opracowanie wiązań, które po przekroczeniu krytycznych sił pojawiających się w czasie lub przed upadkiem powodowały uwolnienie narty. Opracowano również krótsze carvingowe narty z zaokrąglonym przodem, co znacząco wpłynęło na lepsze ich prowadzenie przez narciarza. Początkujący sportowcy szybciej osiągnęli poprawę swoich umiejętności, która to wiąże się z mniejszym ryzykiem upadków i kontuzji. Postęp w konstrukcji butów i wiązań narciarskich doprowadził do zmniejszenia złamań kości piszczelowej i stawu skokowego [6]. Używanie kasków ochronnych wyraźnie zmniejsza ryzyko i ciężkość urazów głowy w porównaniu do sportowców z nich niekorzystających [22].

## Epidemiologia

Ogólnie rzecz biorąc, wskaźniki urazów narciarzy szacuje się od jednego do pięciu na 1000 dni spędzonych na śniegu na jednego sportowca. U narciarzy złamania w obrębie kończyny górnej dotyczą najczęściej obojczyka, następnie dystalnej kości promieniowej i bliższej kości ramiennej, z których wszystkie stanowią mniejszość wszystkich urazów narciarskich. Zwichnięcia stawu ramiennie-łopatkowego są najczęstszymi zwichnięciami zarówno u narciarzy, jak i snowboardzistów. [3]. Około 14% urazów dotyczy kończyny górnej, głównie kciuka i barku. Większość urazów dotyczy kończyny dolnej, przy czym doniesienia wahają się od 43% do 77% wszystkich urazów związanych z narciarstwem alpejskim. Urazy głowy i szyi stanowią 13% wszystkich urazów. [8] Staw kolanowy stanowi najczęstszą anatomiczną lokalizację urazu, odpowiadając za około jedną trzecią wszystkich urazów u rekreacyjnych narciarzy alpejskich [7]. Kolano również stanowi najczęstszą lokalizację urazu u zawodników [26]. O ile przed wprowadzeniem nart carvingowych MCL był zgłaszany jako najczęściej kontuzjowana struktura kolana, o tyle obecnie większość urazów kolana to urazy ACL, którym towarzyszą urazy innych struktur stawu kolanowego, tj. MCL, MM i LCL. Badanie 282 narciarzy z różnego stopnia uszkodzeniem więzadła krzyżowego przedniego wykazało, że około 35,1% to uszkodzenie izolowane tylko tej struktury. Pozostałym uszkodzeniom towarzyszyły najczęściej urazy więzadła pobocznego przyśrodkowego (50,5%), łątki przyśrodkowej (40,1%) i więzadła pobocznego bocznego(22,5%) [7]. Kobiety jeżdżące rekreacyjnie na nartach doznają urazu kolana dwukrotnie częściej niż mężczyźni, a ryzyko urazu więzadła krzyżowego przedniego (ACL) jest trzykrotnie wyższe u narciarek [13, 23].

## Cel pracy

Celem pracy jest analiza piśmiennictwa dotyczącego mechanizmu uszkodzenia więzadeł stawu kolanowego oraz potencjalnej interwencji profilaktycznej w narciarstwie alpejskim.

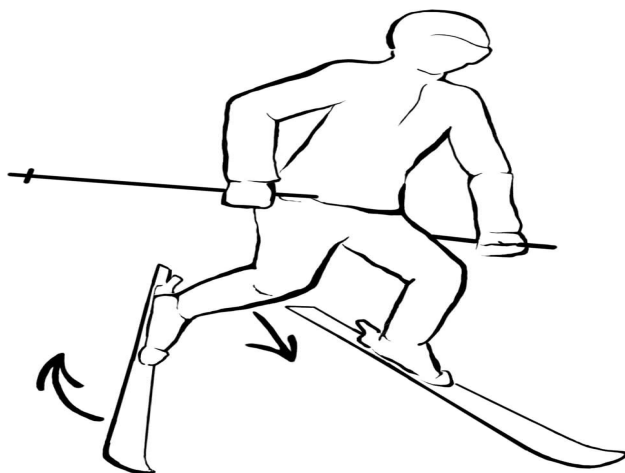
## Materiały i metody

Niniejsze badanie oparto na dostępnych danych zgromadzonych w bazie danych PubMed i Google Scholar. Badanie przeprowadzono poprzez przegląd słów kluczowych, takich jak: „alpine skiing”, „ski bindings”, "alpine skiing injuries", "ACL"

## Mechanizm

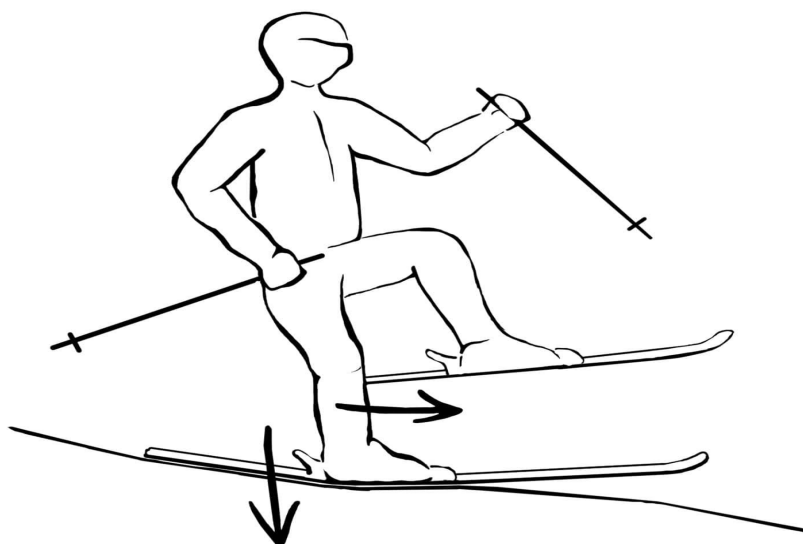
Podstawową funkcją ACL jest zapobieganie przesunięciu kości piszczelowej do przodu. Działa jako dodatkowy stabilizator zapobiegający wewnętrznej rotacji kości piszczelowej i koślawości stawu kolanowego. Funkcje powierzchniowego i głębokiego MCL są różne. Powierzchniowy MCL działa jako główny czynnik zapobiegający koślawemu przemieszczeniu kolana i działa w połączeniu z ACL w zapobieganiu translacji do przodu i rotacji wewnętrznej. Głęboki MCL działa jako stabilizator łątki i pomaga stabilizować wewnętrzną rotację kolana od pełnego wyprostu w zgięciu pod kątem 90 stopni [12].

Upadek na śnieg jest najczęstszą przyczyną urazu u narciarzy [9]. Istnieją trzy powszechne mechanizmy urazu więzadeł kolana. Sekwencja koślawego ustawienia kończyny i jej zewnętrznej rotacji (valgus-external rotation sequence) prowadzi głównie do urazów MCL, ale dotyczy ACL w 20% przypadków. W tego typu kontuzji narciarz upada do przodu, chwytając wewnętrzną krawędź jednej ze swoich nart, narta następnie obraca się na zewnątrz powodując odwiedzenie i rotację zewnętrzną nogi.



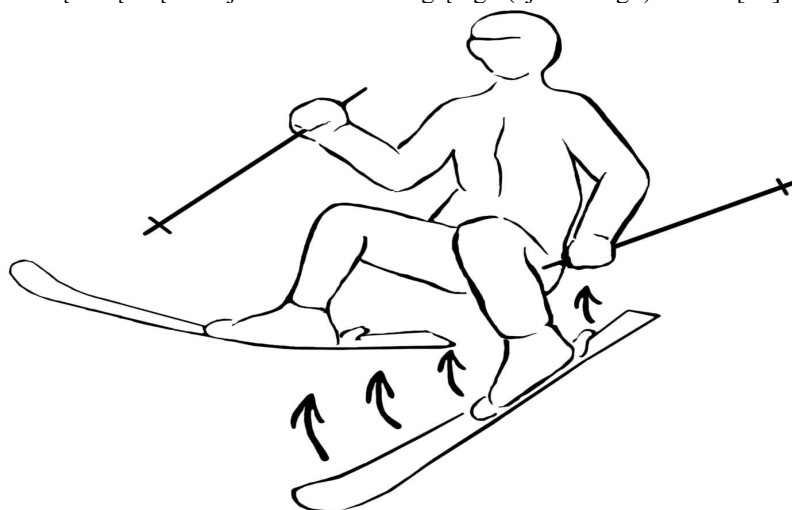
Ryc. 1. Sekwencja koślawego ustawienia kończyny i jej zewnętrznej rotacji.

Mechanizm przedniej szuflady wywołany przez but (the boot-induced anterior drawer mechanism) pojawia się, gdy narciarz ląduje po skoku z wyprostowanym kolaniem. Tylna część nart styka się ze śniegiem jako pierwsza, działając jak dźwignia na kompleks wiązanie - narty, zmuszając ruch piszczeli do przodu względem kości udowej.



Ryc. 2. Mechanizm przedniej szuflady wywołany przez but.

Uraz w mechanizmie "phantom-foot" jest najczęstszym mechanizmem i pojawia się, gdy narciarz upada do tyłu między narty. Kolana są zgięte, biodra opadają poniżej poziomu kolan; górna część ciała skierowana jest w stronę narty zjazdowej, a narta podjazdowa jest nieobciążona. Do urazu dochodzi, gdy wewnętrzna krawędź narty zjazdowej wbija się w śnieg za narciarzem. Następnie narty odchylają się na zewnątrz, przykładając wewnętrzną siłę rotacji do nadmiernie zgiętego (zjazdowego) kolana [10].



Ryc. 3. Mechanizm "phantom-foot".

Podobnie jak w przypadku narciarzy rekreacyjnych najczęstszym problemem u zawodowych narciarzy są urazy kolana, a najczęstszą diagnozą jest całkowite zerwanie więzadła krzyżowego przedniego. Sekwencja urazu u narciarzy zawodowych jest jednak inna, wyróżnić tu można trzy mechanizmy: poślizgu i złapania" (slip-catch mechanism), lądowanie z obciążeniem tylnym (landing back-weighted), dynamiczny pług śnieżny (dynamic snowplow). Uraz kolana w mechanizmie "poślizgu i złapania" (slip-catch mechanism) charakteryzuje się powszechnym wzorcem, w którym narciarz obraca się i traci równowagę do tyłu i/lub do wewnątrz. Narciarz traci nacisk na zewnętrzną nartę, która następnie odsuwa się od środka ciężkości ciała. Próbując odzyskać równowagę, sportowiec stara się odzyskać przyczepność narty zewnętrznej poprzez prostowanie nogi kontrolującej tę nartę. Następnie zewnętrzna narta nagle uderza w powierzchnię śniegu, zmuszając prawie proste kolano do zgięcia, wewnętrznej rotacji i koślawości w momencie urazu [11]. Narty carvingowe obracają

się do wewnątrz z powodu efektu samokierowania nart, gdy obciążenie jest przykładane do wewnętrznej krawędzi narty. Może to generować wewnętrzny moment obrotowy kości piszczelowej, gdy obciążenie jest przykładane za projekcją osi kości piszczelowej, a narciarz traci równowagę i nie jest w stanie dostosować się do ruchu obrotowego [20]. Lądowanie z obciążeniem tylnym ma podobną sekwencję zdarzeń do mechanizmu przedniej szuflady opisanego wcześniej. W mechanizmie dynamicznego pługu śnieżnego narciarz traci równowagę przechylając się do tyłu z większym obciążeniem jednej narty. Narta mniej obciążona (zewnątrzna) odsuwa się od środka ciężkości ciała, co zmusza narciarza do przyjęcia pozycji szpagatu. Narta obciążona bardziej (wewnętrzna) zmienia następnie krawędź z zewnętrznej na wewnętrzną, która to z dużą siłą uderza w śnieg zmuszając kolano do wewnętrznej rotacji i/lub koślawości. Ułożenie nart w chwili urazu przypomina pług śnieżny [11].

Teoria hormonalna opiera się na doniesieniach o podwyższonym poziomie uszkodzeń ACL u kobiet w fazie folikularnej i owulacji, niż w fazie lutealnej. Wynika to prawdopodobnie z podwyższonego stężenia poziomu estrogeny, obniżonego progesteronu. Badania donoszą też o 3- krotnym podwyższeniu stężenia relaksyny u sportsmenek z uszkodzeniem więzadła krzyżowego w porównaniu do grupy kontrolnej, a ryzyko wzrastało czterokrotnie, gdy poziom relaksyny przekraczał 6pg/m [14].

Tabela nr 1. Mechanizm urazu [10].

Sekwencja koślawego ustawienia kończyny i jej zewnętrznej rotacji (valgus-external rotation sequence)	Narciarz upada do przodu, chwytając wewnętrzną krawędź jednej ze swoich nart, narta następnie obraca się na zewnątrz powodując odwiedzenie i rotację zewnętrzną nogi.
Mechanizm przedniej szuflady wywołany przez but (the boot-induced anterior drawer mechanism)	Narciarz ląduje po skoku z wyprostowanym kolaniem. Tylna część nart styka się ze śniegiem jako pierwsza, działając jak dźwignia na kompleks wiązania - narty, zmuszając ruch piszczeli do przodu względem kości udowej.
Mechanizm "phantom-foot"	Narciarz upada do tyłu między narty. Kolana są zgięte, biodra opadają poniżej poziomu kolan, górna część ciała skierowana jest w stronę narty zjazdowej, a narta podjazdowa jest nieobciążona. Do urazu dochodzi, gdy wewnętrzna krawędź narty zjazdowej wbija się w śnieg za narciarzem. Następnie narty odchylają się na zewnątrz, przykładając wewnętrzną siłę rotacji do nadmiernie zgiętego (zjazdowego) kolana

### Zapobieganie

Obecne wyniki potwierdzają, że istnieje wyższe ryzyko zerwania ACL u kobiet podczas jazdy na nartach, będąc 2,4-krotnie częściej w okresie przedowulacyjnym niż w fazie poowulacyjnej. Narciarki powinny zachować szczególną ostrożność podczas tego okresu. Wydaje się, że doustne środki antykoncepcyjne nie mają wpływu na zmniejszenie tego ryzyka. Brak odpięcia się buta od wiązania związany z urazem kolana jest znacznie wyższy wśród kobiet niż u mężczyzn. Narciarze rekreacyjni z kontuzjami kolana zgłosili niepowodzenie uwolnienia wiązania w momencie wypadku w 55%-67% przypadków w porównaniu do 74%-88% przypadków zgłoszonych przez narciarki. Norma Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej ISO 11088 dotycząca wiążących wartości ustawień wiązań pozwala na obniżenie jej o 15% na życzenie narciarza. W badaniu z udziałem 20 narciarek spośród łącznie 240 prób, więcej kobiet było w stanie samodzielnie uwolnić swoje wiązania narciarskie przy niższych ustawieniach wiązań w porównaniu z ich rzeczywistymi ustawieniami ISO (53% vs 9%,  $p < 0,001$ ). Trzydzieści kobiet (65%) było w stanie przynajmniej raz uwolnić swoje wiązania obiema nogami przy obniżonych ustawieniach wiązania w porównaniu do zaledwie trzech kobiet (15%) z ich faktycznymi ustawieniami wiązania ( $p < 0,001$ ) [13]. Zauważono, że w tej chwili są tylko 4 kobiety (11%) z 35 członków grupy ekspertów, które zajmują się normą ISO 11088 dotyczącą wiążących wartości ustawień, prawdopodobnie w wyniku istniejącej „inżynierskiej luki płci” [15].

W przypadku urazu ACL z obciążeniem tylnym podczas lądowania, narciarz pochyla się do tyłu podczas fazy lotu skoku, ląduje na jednej nodze z prawie wyprostowanymi kolanami, a ogon narty uderza jako pierwszy. Ze względu na uderzenie ogonem narty, system butów narciarskich przesuwają się do przodu. Mankiet buta narciarskiego wywiera siłę na piszczel, co może spowodować przesunięcie piszczeli do przodu w stosunku do kości udowej obciążającej ACL. Badanie wpływu różnych SBRS (ski boot rear stiffness - sztywność części tylnej buta narciarskiego) na maksymalną siłę rozciągającą ACL podczas podatnych na kontuzje ruchów lądowania w wyscigach narciarstwa alpejskiego przy użyciu modelu symulacji układu mięśniowo-

szkieletowego Heinricha i in. (2014) z ulepszonym modelem buta narciarskiego wykazały, że w symulowanych 527 lądowaniach z podatnością na kontuzje, średnie wartości maksymalnych sił rozciągających ACL istotnie wzrastały wraz ze wzrostem SBRS. Średnie wartości maksymalnych sił rozciągających ACL wzrosły z 2146 N (SBRS 13 Nm<sup>o</sup>) do 2329 N (SBRS 27 Nm<sup>o</sup>). Siła mięśnia czworogłowego przyczyniła się do zwiększenia siły rozciągania ACL wraz ze wzrostem SBRS. We wszystkich lądowaniach narażonych na kontuzje maksymalna siła rozciągająca ACL wystąpiła w fazie uderzenia. Podczas fazy uderzenia narciarz musiał unikać upadku do tyłu i przeciwdziałać zwiększaniu zgięcia kolana przez duże siły mięśnia czworogłowego. Działania profilaktyczne mogą koncentrować się na redukcji siły mięśnia czworogłowego uda w momencie osiągnięcia maksymalnej siły ACL, co zazwyczaj następuje po około 50 ms od przyziemia. Przy wyprostowanym kolanie należy unikać skurczu mięśnia czworogłowego uda. Można to osiągnąć na przykład poprzez wykorzystanie zakresu ruchu w stawie kolanowym lub ćwiczenie "cichych" lub "miękkich" ruchów podczas lądowania. Redukcję siły mięśnia czworogłowego uda można również osiągnąć za pomocą ortez stawu kolanowego, które zapewniają mechaniczne podparcie kolana. Prewencyjne działanie takiego sprzętu podczas lądowania w narciarstwie alpejskim powinno być zbadane w przyszłości [16].

Narciarz może bardziej polegać na swojej dominującej nodze, co może skutkować zbyt dużym obciążeniem stawu kolanowego. Przeciwnie, mniejsza siła mięśni i upośledzona koordynacja nogi niedominującej w porównaniu z nogą dominującą może również stanowić czynnik ryzyka urazu. Program profilaktyki urazów ACL doprowadził do 45% redukcji urazów ACL wśród szwedzkich uczniów szkół średnich narciarstwa alpejskiego. Wskazuje to, że program zapobiegania urazom ACL składający się z ćwiczeń nerwowo-mięśniowych zarówno w pomieszczeniu, jak i na zewnątrz na śniegu, może zapobiegać kontuzjom ACL u nastoletnich alpejczyków. Program profilaktyki opierał się na wcześniejszych badaniach i obejmował ćwiczenia na śniegu w pomieszczeniach i na świeżym powietrzu, koncentrujące się na "core stability" i kontroli nerwowo-mięśniowej. Narciarstwo alpejskie to sport równostronny. Dlatego celem profilaktyki było zachęcenie narciarzy do wykonywania ćwiczeń, tak aby obie nogi prezentowały się równie dobrze [17]. Stabilność rdzenia (core stability) jest niezbędna do prawidłowego zrównoważenia obciążenia w obrębie kręgosłupa, miednicy i łańcucha kinetycznego. Tak zwany rdzeń to grupa mięśni tułowia, które otaczają kręgosłup i narządy wewnętrzne brzucha. Mięśnie brzucha, pośladków, obręczy biodrowej, przykręgosłupowe i inne mięśnie działają wspólnie, aby zapewnić stabilność kręgosłupa [18].

Niedawny rozwój technologii czujników i mikroelektroniki umożliwia integrację mniejszych i tańszych systemów w sprzęcie sportowym i tekstyliach. Mechatroniczne wiązania narciarskie stają się wykonalne. Niezbędne zmienne biomechaniczne można mierzyć za pomocą dostępnych zasad pomiaru i tanich czujników. Wiarygodność i dokładność pomiarowa systemów prezentowanych w literaturze oraz opracowanych przez nas systemów jest obiecująca, ale wymaga poprawy w dalszych pracach nad ich wdrożeniem. Najważniejsze dla udanego mechatronicznego wiązania narciarskiego będzie lepsze zrozumienie mechanizmów urazów i tego, w jaki sposób proponowane zmienne odnoszą się do ryzyka urazu. To zrozumienie jest kluczem do niezawodnego algorytmu, który bezpiecznie dostosuje wartości retencji wiązań bez prowokowania nie zamierzonych uwolnień. Weryfikacja takiego algorytmu może zostać przeprowadzona tylko przez dużą liczbę narciarzy testowych przy użyciu systemów czujników mechatronicznych wiązań narciarskich, ale standardowe mechaniczne wiązanie narciarskie ciągle będą wykorzystywane jako system bezpieczeństwa [19, 24].

Pomiar sił w butach narciarskich, które stanowią kluczowy element dopasowujący się do kształtu i przenoszący siły podczas jazdy na nartach, doprowadzi do zwiększenia wydajności i, co ważniejsze, bezpieczeństwa. Pozycje czujników są szczególnie interesujące dla przyszłej konstrukcji buta formowanego wtryskowo, produkowanego przez wkładanie czujników bezpośrednio do formy przed wtryskiem polimeru [2, 25].

### **Podsumowanie**

Najwięcej opisanych mechanizmów uszkodzenia jest powiązanych z brakiem uwolnienia wiązań narciarskich podczas upadku sportowca. W przyszłości zapobieganie kontuzjom powinno koncentrować się na mechanizmie uszkodzenia przy użyciu czujników elektronicznych umieszczonych w sprzęcie narciarzy. Nowe technologie mikroelektroniczne mogą pomóc w tworzeniu wiązania mechatronicznego, które identyfikują zbyt duże siły działające na narciarza, gdy ten jest w jednej z ryzykownych sytuacji wywołującej uraz kolana. Do innych możliwości zmniejszających ryzyko urazu jest obniżenie wartości ustawień wiązań narciarskich dla kobiet, ćwiczenia koncentrujące się na "core stability" i kontroli nerwowo-mięśniowej, wykorzystanie zakresu ruchu w stawie kolanowym lub poprzez ćwiczenie cichych lub miękkich ruchów lądowania.

### **Bibliografia:**

- [1] Martinescu-Bădălan, Fabiana and Stănculescu, Robert. "History and Debut of the Ski-Mountaineering" Scientific Bulletin, vol.24, no.1, 2019, pp.46-51. <https://doi.org/10.2478/bsaft-2019-0005>
- [2] Loeffler, Roland, and Ernst Steinicke. "Amenity migration in the US Sierra Nevada." Geographical Review 97.1 (2007): 67-88.

- [3] Weinstein S, Khodae M, VanBaak K. Common Skiing and Snowboarding Injuries. *Curr Sports Med Rep*. 2019 Nov;18(11):394-400. doi: 10.1249/JSR.0000000000000651. PMID: 31702721.
- [4] Wagner, M., Pfuertscheller, S., Dammerer, D., Nardelli, P., Kaufmann, G., & Brunner, A. (2022). Emergency Service Assistance for Injuries on Alpine Ski Slopes: A Cross-Sectional Study. *Prehospital and Disaster Medicine*, 37(6), 778-782. doi:10.1017/S1049023X22001364
- [5] Burtscher M, Ruedl G. Favourable changes of the risk-benefit ratio in alpine skiing. *Int J Environ Res Public Health*. 2015 May 29;12(6):6092-7. doi: 10.3390/ijerph120606092. PMID: 26035659; PMCID: PMC4483689.
- [6] Natri A, Beynon BD, Ettlinger CF, Johnson RJ, Shealy JE. Alpine ski bindings and injuries. *Current findings*. *Sports Med*. 1999 Jul;28(1):35-48. doi: 10.2165/00007256-199928010-00004. PMID: 10461711.
- [7] Posch M, Schranz A, Lener M, Tecklenburg K, Burtscher M, Ruedl G. In recreational alpine skiing, the ACL is predominantly injured in all knee injuries needing hospitalisation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2021 Jun;29(6):1790-1796. doi: 10.1007/s00167-020-06221-z. Epub 2020 Aug 14. PMID: 32803275; PMCID: PMC8126542.
- [8] Davey A, Endres NK, Johnson RJ, Shealy JE. Alpine Skiing Injuries. *Sports Health*. 2019 Jan/Feb;11(1):18-26. doi: 10.1177/1941738118813051. PMID: 30782106; PMCID: PMC6299353.
- [9] Pierpoint LA, Kerr ZY, Crume TL, Grunwald GK, Comstock RD, Selenka DK, Khodae M. A comparison of recreational skiing- and snowboarding-related injuries at a Colorado ski resort, 2012/13-2016/17. *Res Sports Med*. 2020 Jul-Sep;28(3):413-425. doi: 10.1080/15438627.2020.1754821. Epub 2020 Apr 23. PMID: 32324432.
- [10] Koehle MS, Lloyd-Smith R, Taunton JE. Alpine ski injuries and their prevention. *Sports Med*. 2002;32(12):785-93. doi: 10.2165/00007256-200232120-00003. PMID: 12238941.
- [11] Bere T, Flørenes TW, Krosshaug T, Koga H, Nordsletten L, Irving C, Muller E, Reid RC, Senner V, Bahr R. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in World Cup alpine skiing: a systematic video analysis of 20 cases. *Am J Sports Med*. 2011 Jul;39(7):1421-9. doi: 10.1177/0363546511405147. Epub 2011 Apr 22. PMID: 21515807.
- [12] Hassebrock JD, Gulbrandsen MT, Asprey WL, Makovicka JL, Chhabra A. Knee Ligament Anatomy and Biomechanics. *Sports Med Arthrosc Rev*. 2020 Sep;28(3):80-86. doi: 10.1097/JSA.0000000000000279. PMID: 32740458.
- [13] Posch M, Burtscher M, Schranz A, Tecklenburg K, Helle K, Ruedl G. Impact of lowering ski binding settings on the outcome of the self-release test of ski bindings among female recreational skiers. *Open Access J Sports Med*. 2017 Dec 14;8:267-272. doi: 10.2147/OAJSM.S151229. PMID: 29276416; PMCID: PMC5733917.
- [14] Lefevre N, Bohu Y, Klouche S, Lecocq J, Herman S. Anterior cruciate ligament tear during the menstrual cycle in female recreational skiers. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2013 Sep;99(5):571-5. doi: 10.1016/j.otsr.2013.02.005. Epub 2013 Jun 10. PMID: 23764504.
- [15] Posch M, Ruedl G, Tecklenburg K, Burtscher M. Might Gendering Ski Binding Settings be Helpful for the Prevention of ACL Injuries Among Female Recreational Alpine Skiers? *Sports Med Open*. 2022 Feb 5;8(1):21. doi: 10.1186/s40798-022-00415-0. PMID: 35122560; PMCID: PMC8817959.
- [16] Eberle R, Heinrich D, Kaps P, Oberguggenberger M, Nachbauer W. Effect of ski boot rear stiffness (SBRS) on maximal ACL force during injury prone landing movements in alpine ski racing: A study with a musculoskeletal simulation model. *J Sports Sci*. 2017 Jun;35(12):1125-1133. doi: 10.1080/02640414.2016.1211309. Epub 2016 Jul 26. PMID: 27458775.
- [17] Westin M, Harringe ML, Engström B, Alricsson M, Werner S. Prevention of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Competitive Adolescent Alpine Skiers. *Front Sports Act Living*. 2020 Mar 6;2:11. doi: 10.3389/fspor.2020.00011. PMID: 33345006; PMCID: PMC7739649.
- [18] Akuthota V, Ferreiro A, Moore T, Fredericson M. Core stability exercise principles. *Curr Sports Med Rep*. 2008 Feb;7(1):39-44. doi: 10.1097/01.CSMR.0000308663.13278.69. PMID: 18296944.
- [19] Hermann A, Senner V. Knee injury prevention in alpine skiing. A technological paradigm shift towards a mechatronic ski binding. *J Sci Med Sport*. 2021 Oct;24(10):1038-1043. doi: 10.1016/j.jsams.2020.06.009. Epub 2020 Jun 20. PMID: 32631774.
- [20] Bere T, Mok KM, Koga H, Krosshaug T, Nordsletten L, Bahr R. Kinematics of anterior cruciate ligament ruptures in World Cup alpine skiing: 2 case reports of the slip-catch mechanism. *Am J Sports Med*. 2013 May;41(5):1067-73. doi: 10.1177/0363546513479341. Epub 2013 Feb 28. PMID: 23449837.
- [21] Nimmervoll F, Çakmak U, Reiter M. Studying Force Patterns in an Alpine Ski Boot and Their Relation to Riding Styles and Falling Mechanisms. *Front Sports Act Living*. 2021 Apr 13;3:557849. doi: 10.3389/fspor.2021.557849. PMID: 33928241; PMCID: PMC8077231.
- [22] Haider AH, Saleem T, Bilaniuk JW, Barraco RD; Eastern Association for the Surgery of Trauma Injury Control/Violence Prevention Committee. An evidence-based review: efficacy of safety helmets in the reduction of head injuries in recreational skiers and snowboarders. *J Trauma Acute Care Surg*. 2012 Nov;73(5):1340-7. doi: 10.1097/TA.0b013e318270bbca. PMID: 23117389; PMCID: PMC3989528.
- [23] Ruedl G, Posch M, Tecklenburg K, Schranz A, Faulhaber M, Burtscher M. Skill-Specific Differences in Equipment-Related Risk Factors for ACL Injury in Male and Female Recreational Skiers. *Orthop J Sports Med*.

2023 Mar 2;11(3):23259671231155841. doi: 10.1177/23259671231155841. PMID: 36896096; PMCID: PMC9989403.

[24] Russo C, Puppo E, Roati S, Somà A. Proposal of an Alpine Skiing Kinematic Analysis with the Aid of Miniaturized Monitoring Sensors, a Pilot Study. *Sensors (Basel)*. 2022 Jun 4;22(11):4286. doi: 10.3390/s22114286. PMID: 35684907; PMCID: PMC9185405.

[25] Zullo G, Cibin P, Bortolan L, Botteon M, Petrone N. An Innovative Compact System to Measure Skiing Ground Reaction Forces and Flexural Angles of Alpine and Touring Ski Boots. *Sensors (Basel)*. 2023 Jan 11;23(2):836. doi: 10.3390/s23020836. PMID: 36679634; PMCID: PMC9867497.

[26] Han PD, Gao D, Liu J, Lou J, Tian SJ, Lian HX, Niu SM, Zhang LX, Wang Y, Zhang JJ. Medical services for sports injuries and illnesses in the Beijing 2022 Olympic Winter Games. *World J Emerg Med*. 2022;13(6):459-466. doi: 10.5847/wjem.j.1920-8642.2022.106. PMID: 36636567; PMCID: PMC9807383.