

Zmienność glikemii podczas 24-godzinnego wyścigu kolarskiego w formacie sztafety duo: porównanie zawodnika z cukrzycą typu 1 i zawodnika bez cukrzycy

tor Hungaroring, 11-12 lipca 2026

Zespół: Velocation Cycling Team

Partner projektu pilotażowego: Proglukemia sp. z o.o., dystrybutor systemu CGM Dexcom w Polsce

Projekt powstał przy wsparciu merytorycznym Pani prof. dr hab. n. med. Doroty Zozulińskiej-Ziółkiewicz

Autorzy: Przemysław Kotulski, Dominika Kotulska

© 2026 Przemysław Kotulski, Dominika Kotulska. Wszelkie prawa zastrzeżone. Kopiowanie, powielanie i rozpowszechnianie niniejszego opracowania, w całości lub w części, bez podania autorów jest zabronione.

Abstrakt

Podczas 24-godzinnego wyścigu kolarskiego Ring24 (Hungaroring, 11-12 lipca 2026) przeprowadzono pilotażową obserwację glikemii u dwóch zawodników sztafety duo: jednego z cukrzycą typu 1 leczoną insuliną i jednego zdrowego metabolicznie. Ciągły pomiar CGM Dexcom zestawiono z danymi wysiłku (moc, tętno) oraz dziennikiem żywieniowo-insulinowym. U zawodnika bez cukrzycy zaobserwowano spójny, powtarzalny wzorzec we wszystkich czterech przerwach między zmianami: krótki wzrost glikemii w pierwszych 10-25 minutach odpoczynku, po którym następował spadek utrzymujący się przez 1-3 godziny, niezależnie od spożywanych posiłków. Szczegółowa analiza reakcji na posiłek (ok. 107 g CHO) wykazała brak mierzalnego wzrostu glikemii w trzech z czterech przypadków, co sugeruje mechanizm opóźnionej hipoglikemii powysiłkowej związany z efektem odbicia insuliny i zwiększoną wrażliwością insulinową mięśni bezpośrednio po wysiłku. U zawodnika z cukrzycą typu 1 dynamika była jakościowo odmienna: duże, wielofazowe wahania glikemii (10-17 mmol/L amplitudy) sterowane logistyką posiłek-insulina, a nie samym ustaniem wysiłku. Wyniki, choć ograniczone tylko do dwóch uczestników, wskazują na potencjalną użyteczność ciągłego monitorowania glikemii w procesie treningowym i regeneracyjnym sportowców wytrzymałościowych, również tych bez zaburzeń gospodarki węglowodanowej, gdzie zmiany te pozostają niewidoczne bez pomiaru ciągłego i mogą wpływać na jakość regeneracji, nie tylko na sam wynik podczas zawodów.

- Słowa kluczowe: CGM, ciągły monitoring glikemii, cukrzyca typu 1, kolarstwo wytrzymałościowe, regeneracja powysiłkowa, opóźniona hipoglikemia powysiłkowa, metabolizm glukozy w kolarstwie ultra-wytrzymałościowym, monitorowanie glukozy technologią ubieralną u sportowców, ciągłe monitorowanie glikemii u sportowców bez cukrzycy, zmienność glikemii u sportowców bez cukrzycy, zastosowanie CGM u sportowców wyczynowych, monitorowanie glukozy a wydajność sportowa

1. Wprowadzenie i cel projektu pilotażowego

Wyścig Ring24 to 24-godzinna sztafeta kolarska rozgrywana na torze Hungaroring, w której dwuosobowa drużyna pokonuje dystans w systemie naprzemiennych zmian. Wydarzenie posłużyło jako fizjologiczne studium przypadku: celem było ciągłe monitorowanie glikemii w czasie rzeczywistym u dwóch zawodników o odmiennym statusie metabolicznym: jednego z cukrzycą typu 1 leczoną intensywną insulinoterapią oraz jednego zdrowego metabolicznie, podczas długotrwałego, wielogodzinnego wysiłku wytrzymałościowego przeplatane go okresami odpoczynku.

Zespół Velocation Cycling Team zajął 1. miejsce w kategorii duo. Zawodnik A pokonał łącznie 412 km, a zawodnik B 432 km, co daje łączny dystans drużyny ok. 844 km w ciągu 24 godzin.

Pytanie kluczowe: jak przebiega dynamika glikemii w okresach przejścia z wysiłku do odpoczynku (i odwrotnie) w wielogodzinnym wysiłku kolarskim o charakterze zmianowym, z ograniczoną regeneracją między kolejnymi zmianami, oraz czy wzorec ten różni się jakościowo pomiędzy zawodnikiem z cukrzycą typu 1 a zawodnikiem bez cukrzycy.

2. Uczestnicy i metodologia

2.1 Uczestnicy

- Zawodnik A: mężczyzna, kolarz amator- zaawansowany w bardzo dobrej formie fizycznej, bez cukrzycy i innych zaburzeń gospodarki węglowodanowej.
- Zawodnik B: mężczyzna, kolarz - były zawodowiec w bardzo dobrej formie fizycznej, cukrzyca typu 1 leczona insulinoterapią (insulina długodziałająca + insulina krótkodziałająca).

Obaj zawodnicy tworzyli jedną drużynę duo i jechali w systemie zazębiających się zmian: zmiana jednego zawodnika kończyła się dokładnie w momencie startu zmiany drugiego, tak że w każdym momencie wyścigu jeden z nich znajdował się na torze, a drugi odpoczywał. Zawodnik B pokonał zmiany o numerach nieparzystych (1, 3, 5, 7), zawodnik A parzystych (2, 4, 6, 8), o długości od ok. 2 do 4 godzin każda.

2.2 Sprzęt pomiarowy i zebrane dane

- System ciągłego monitoringu glikemii (CGM) Dexcom G7: odczyty co 5 minut.
- Dane wysiłkowe urządzenia Garmin: moc (W), tętno (uderzenia/min), kadencja, prędkość.
- Dziennik żywieniowy: spożycie węglowodanów (g CHO), białka i tłuszczu, zapisywane w momencie posiłku/przekąski.
- U zawodnika B dodatkowo dziennik dawek insuliny (jednostki) z każdym bolusem/korektą, rejestrowany automatycznie dzięki synchronizacji aplikacji Dexcom G7 z inteligentnym penem insulinowym NovoPen Echo Plus.

2.3 Ograniczenia projektu

Niniejsze opracowanie opiera się na danych CGM Dexcom zestawionych z parametrami wysiłku (Garmin) oraz dziennikiem żywieniowo-insulinowym prowadzonym na bieżąco podczas wyścigu. Próba obejmuje 2 uczestników, co nadaje pracy charakter studium przypadku, a nie analizy populacyjnej, więc wnioski mają charakter hipotezotwórczy. Brak grupy kontrolnej i randomizacji interwencji żywieniowych, dane o spożyciu makroskładników są samodzielnie raportowane w czasie rzeczywistym (możliwe niedoszacowania), a warunki wyścigu (pora doby, zmęczenie kumulacyjne, presja rywalizacji, warunki pogodowe) nie były kontrolowane eksperymentalnie.

Istotnym dodatkowym ograniczeniem jest pominięcie przez zawodnika B standardowej wieczornej dawki insuliny długodziałającej (Lantus, przyjmowanej zwykle o godz. 22:00). Ponieważ dawka ta nie została podana w trakcie wyścigu, od wieczora pierwszego dnia zawodnik B funkcjonował bez pokrycia bazowego, opierając regulację glikemii wyłącznie na doraźnych bolusach insuliny krótkodziałającej. To istotnie zwiększa zmienność i amplitudę wahań glikemii opisanych w sekcji 3.3, szczególnie w przerwach 2-4, i powinno być brane pod uwagę jako czynnik zakłócający przy interpretacji wyników w drugiej połowie wyścigu, niezależny od samego mechanizmu wysiłek-odpoczynek.

2.4 Partner projektu pilotażowego

Partnerem projektu jest Proglukemia sp. z o.o., oficjalny dystrybutor systemów ciągłego monitorowania glikemii (CGM) Dexcom w Polsce. Współpraca objęła zapewnienie dostępu do technologii CGM wykorzystanej u obu zawodników podczas wyścigu Ring24 oraz wsparcie finansowe.

Wykres 1. Glikemia zawodnika A w trakcie całego wyścigu, z zaznaczonymi zmianami (jazda), przerwami (odpoczynek) oraz spadkiem glukozy po każdej zmianie.

Przerwa	Pora	Glikemia na startcie	Szczyt (czas od startu)	Dołek (czas od startu)
1	18:58-22:00	6,3 (114)	8,5 (153), 19,8 min	4,4 (79), 129,9 min
2 (nocna)	01:53-06:01	7,8 (141)	8,3 (150), 19,8 min	3,8 (68), 184,8 min
3	09:08-11:03	7,2 (130)	8,0 (144), 10,0 min	4,7 (85), 105,0 min
4 (końcowa)	13:03-14:18	6,3 (114)	8,2 (148), 15,0 min	4,6 (83), 70,0 min

Tabela 2. Przebieg glikemii zawodnika A w kolejnych przerwach między zmianami. Czas liczony od pierwszego odczytu CGM po zejściu z roweru.

Czujnik CGM Dexcom mierzy glukozę w bardzo regularnym rytmie, dokładnie co 300 sekund (5 minut), według własnego, wewnętrznego zegara, niezależnego od jakiegokolwiek innego urządzenia. Moment „koniec zmiany” (przyjęty jako minuta 0) pochodzi natomiast z zupełnie innego źródła: to chwila, w której czujniki Garmina (moc, kadencja) wykrywają zejście z roweru. Ponieważ te dwa urządzenia nie mają wspólnego zegara, pierwszy prawdziwy pomiar CGM po zejściu z roweru nie wypada dokładnie w minucie 0, lecz w dowolnym miejscu własnego, 5-minutowego cyklu próbkowania Dexcoma- czasem bliżej, czasem dalej od faktycznego momentu zejścia z roweru. Na przykład w Przerwie 1 zawodnik zszedł z roweru o 18:58:30 (minuta 0), a najbliższy kolejny prawdziwy pomiar Dexcom padł dopiero o 19:03:20 (290 sekund później, nie 300s) – więc szczyt zarejestrowany o 19:18:20 wypada dokładnie na 19 minut i 50 sekund, czyli 19,8 minuty od zejścia z roweru. Stąd wartości dziesiętne (19,8 zamiast 20,0 itp.) w poniższych tabelach.

Poniższa tabela rozбивa każdą przerwę na fazę wzrostu (od zejścia z roweru do szczytu) i fazę spadku (od szczytu do dołka), z dokładnymi czasami trwania każdej z nich.

Przerwa	Wzrost: start-koniec (min)	Czas trwania wzrostu	Spadek: start-koniec (min)	Czas trwania spadku
1	0,0-19,8	19,8 min	19,8-129,9	110,1 min
2 (nocna)	0,0-19,8	19,8 min	19,8-184,8	165,0 min
3	0,0-10,0	10,0 min	10,0-105,0	95,0 min
4 (końcowa)	0,0-15,0	15,0 min	15,0-70,0	55,0 min
Średnia	0,0-16,2	16,2 min	16,2-122,4	106,3 min

Tabela 2a. Dokładny czas trwania fazy wzrostu i fazy spadku glikemii w każdej z czterech przerw, liczony od pierwszego odczytu CGM po zejściu z roweru (minuta 0).

We wszystkich czterech przypadkach wzorzec jest identyczny jakościowo: przejściowy wzrost glikemii o ok. 0,5-2,2 mmol/L, trwający średnio 16,2 minuty (10,0-19,8 min), a następnie spadek do wartości 3,8-4,7 mmol/L, trwający średnio 106,3 minuty (55,0-165,0 min), mimo posiłków rzędu 60-110 g CHO na start przerwy. Najniższy odczyt całego wyścigu u zawodnika A (3,8 mmol/L) wystąpił w przerwie nocnej, po najmniejszej z przekąsek (28 g CHO), co sugeruje, że w tym epizodzie podaż węglowodanów nie nadążała za skumulowanym zmęczeniem i wydatkiem energetycznym z poprzedzającej, najdłuższej (4-godzinnej) zmiany.

Fizjologicznie wzrost w pierwszych minutach odpoczynku jest zgodny z mechanizmem ustania zależnego od wysiłku wychwyty glukozy przez pracujące mięśnie oraz z podwyższonym poziomem hormonów kontr regulacyjnych (katecholaminy, kortyzol) bezpośrednio po zakończeniu intensywnego wysiłku.

3.2.1 Timing posiłku względem szczytu: analiza mechanistyczna

Zawodnik A zgłosił, że po każdej zmianie najpierw szedł się umyć, a dopiero potem zaczynał jeść, co dawało opóźnienie do pierwszego posiłku rzędu 26-29 minut od zejścia z roweru, zaskakująco spójne we wszystkich czterech przerwach. Aby ocenić znaczenie tego opóźnienia, przeanalizowano nie całą przerwę, lecz

konkretnie reakcję glikemii w oknie 90 minut po spożyciu pierwszego posiłku (za każdym razem ok. 107 g CHO).

Przerwa	Opóźnienie do posiłku	Glikemia w momencie posiłku	Maks. w 90 min po posiłku	Min. w 90 min po posiłku
1	29 min	8,5 (153)	8,0 (144), Δ -0,5, po 6 min	6,0 (108), Δ -2,5, po 86 min
2 (nocna)	28 min	8,3 (150)	7,7 (139), Δ -0,6, po 2 min	5,7 (103), Δ -2,6, po 82 min
3	26 min	6,3 (114)	7,7 (139), Δ +1,4, po 14 min	4,7 (85), Δ -1,6, po 79 min
4 (końcowa)	28 min	6,4 (115)	5,4 (97), Δ -1,0, po 2 min	4,6 (83), Δ -1,8, po 42 min

Tabela 3. Reakcja glikemii zawodnika A na pierwszy posiłek po zmianie (ok. 107 g CHO), okno 90 minut.

Wynik jest wyraźny: w trzech na cztery przerwy zjedzenie ok. 107 g węglowodanów nie wywołało żadnego mierzalnego wzrostu glikemii: poziom był już na szczycie w momencie posiłku i zaczynał spadać niemal natychmiast po nim. Dla porównania, u osoby zdrowej w spoczynku dawka rzędu 100 g szybko przyswajalnych węglowodanów standardowo podnosi glikemię o ok. 2-4 mmol/L w ciągu 30-60 minut. Brak tej reakcji w trzech z czterech epizodów jest nietypowy i wymaga wyjaśnienia fizjologicznego, a nie tylko odżywczego.

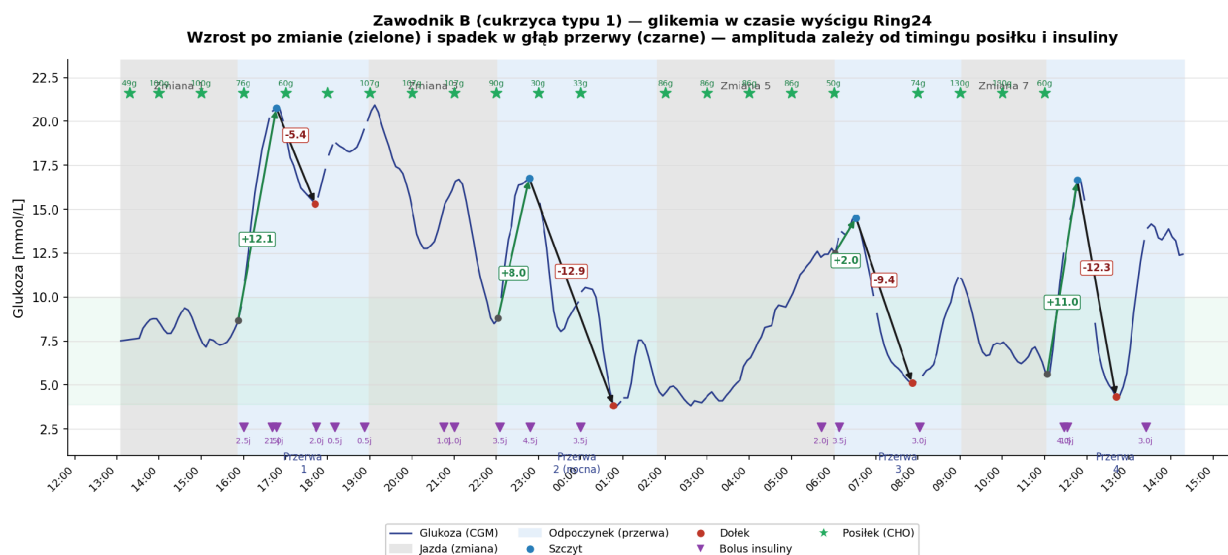
Najbardziej prawdopodobnym mechanizmem jest tzw. opóźniona hipoglikemia powysiłkowa (ang. late-onset post-exercise hypoglycemia). W trakcie intensywnego wysiłku wydzielanie insuliny jest fizjologicznie tłumione przez katecholaminy, mimo uwalniania glukozy z wątroby, dlatego w trakcie samej jazdy glikemia pozostaje stabilna lub rośnie. Gdy wysiłek się kończy, poziom katecholamin gwałtownie opada, hamulec na trzustkę znika i wydzielanie insuliny wraca do normy, często z przejściowym nadmiarem. Nakłada się to na typowy dla okresu bezpośrednio po wysiłku stan silnie zwiększonej wrażliwości insulinowej mięśni (translokacja transporterów GLUT4 w celu odbudowy glikogenu), nawet niewielka ilość insuliny działa wtedy wyjątkowo skutecznie i szybko przenosi glukozę z krwi do mięśni. Jeśli w tym oknie nie ma dowozu węglowodanów z zewnątrz, spadek glikemii rozpoczyna się niezależnie od tego, czy cokolwiek zostało zjedzone: zjedzenie posiłku później nie cofa już tego procesu, a jedynie w ograniczonym stopniu go spowalnia, co tłumaczy, dlaczego nawet spora porcja 107 g CHO podana ~27 minut po zejściu z roweru nie zatrzymała spadku.

Zgodność tego mechanizmu z danymi potwierdza timing: spadek rozpoczyna się konsekwentnie w oknie 10-25 minut od zakończenia wysiłku, dokładnie tam, gdzie fizjologicznie należałoby oczekiwać szczytu rebound insuliny, a nie np. 60-90 minut po posiłku, co sugerowałoby raczej zwykłą reakcję poposiłkową. U zawodnika A nie mierzono bezpośrednio insuliny ani C-peptydu (co jest standardowe u osoby bez cukrzycy), więc powyższe pozostaje wiarygodną, spójną z literaturą sportowo-endokrynologiczną hipotezą mechanistyczną, a nie bezpośrednio zmierzonym faktem. Sam kształt, powtarzalność i timing krzywej glikemii są jednak w pełni zgodne z tym wyjaśnieniem.

Praktyczna implikacja: spadek glikemii zaczynający się w pierwszych 20 minutach odpoczynku, zanim pojawią się jakiegokolwiek subiektywne objawy zmęczenia, jest z definicji niewidoczny bez ciągłego pomiaru: u zawodnika A epizod ten dało się zaobserwować wyłącznie retrospektywnie na zapisie CGM. Rozbicie rutyny powysiłkowej tak, by przyjęcie węglowodanów wyprzedzało higienę osobistą, mogłoby ograniczyć głębokość tego spadku w kolejnych startach.

3.3 Wzorzec glikemii w przerwach: zawodnik B (cukrzyca typu 1)

U zawodnika B dynamika w przerwach jest jakościowo odmienna i zdominowana przez interwencje żywieniowo-insulinowe, a nie samo zaprzestanie wysiłku. Każda z czterech przerw wykazuje duże wahania glikemii w obie strony (amplituda rzędu 10-17 mmol/L), często z dwoma lub trzema kolejnymi cyklami wzrost-spadek w obrębie jednej przerwy, odpowiadającymi kolejnym posiłkom i bolusom.



Ring24, Hungaroring, 11-12 lipca 2026 · Dane: Dexcom CGM, dziennik insulino-żywnościowy

Wykres 2. Glikemia zawodnika B w trakcie całego wyścigu, z zaznaczonymi zmianami (jazda), przerwami (odpoczynek), bolusami insuliny i posiłkami. Zielone strzałki: wzrost od startu przerwy do szczytu; czarne: spadek od szczytu do dołka, tą samą metodą co na Wykresie 1.

Przerwa	Pora	Przebieg (mmol/L, w nawiasie mg/dL)
1	15:52-18:57	8,6 (155) → szczyt 20,8 (375) ~50 min, po 76 g CHO + 2,5 j → spadek do 15,3 (276) → drugi wzrost do 20,0 (360) po kolejnym posiłku (60 g CHO)
2 (nocna)	22:02-01:47	8,8 (159) → szczyt 16,8 (303) ~45 min, po 3,5 j + 30 g CHO → hipoglikemia 3,8 (68) ~165 min → odbicie do 7,6 (137)
3	06:02-09:00	13,3 (240, już podwyższona) → szczyt 14,5 (261) → spadek do 5,1 (92) ~110 min → ponowny wzrost do 11,1 (200) po 74 g CHO / 3 j
4 (końcowa)	11:03-14:20	5,6 (101) → szczyt 16,7 (301) ~40 min → spadek do 4,3 (77) ~95 min → trzeci wzrost do 14,2 (256) po kolejnej korekcie

Tabela 4. Przebieg glikemii zawodnika B w kolejnych przerwach między zmianami.

Łącznie w oknie wyścigu zawodnik B podał 39,5 j insuliny i spożył ok. 1652 g węglowodanów, przy czym rozkład dawek pokazuje typowy dla ultra-wytrzymałości problem: konieczność szybkiego uzupełnienia dużej ilości węglowodanów na starcie przerwy (by uniknąć hipoglikemii powysiłkowej) zderza się z opóźnionym i trudnym do precyzyjnego wymiarowania działaniem insuliny, co prowadzi do powtarzalnych epizodów hiperglikemii poposiłkowej, a następnie, gdy insulina w końcu "dogania" wchłonięte węglowodany, często już w trakcie kolejnej zmiany lub tuż przed nią, do hipoglikemii lub gwałtownego spadku.

Analogicznie do Tabeli 2a (zawodnik A), poniższa tabela rozбивa pierwszy, główny cykl każdej przerwy zawodnika B na fazę wzrostu (od zejścia z roweru do pierwszego szczytu) i fazę spadku (od tego szczytu do pierwszego dołka), z dokładnymi czasami trwania. U zawodnika B, w odróżnieniu od zawodnika A, po tym pierwszym cyklu w większości przerw następują kolejne, mniejsze cykle wzrost-spadek (opisane w Tabeli 4 powyżej)- poniższe dane obejmują wyłącznie pierwszy, dominujący cykl, dla zachowania porównywalności formatu z Tabelą 2a.

Przerwa	Wzrost: start-koniec (min)	Czas trwania wzrostu	Spadek: start-koniec (min)	Czas trwania spadku
1	0,0-54,3	54,3 min	54,3-109,5	55,2 min
2 (nocna)	0,0-44,7	44,7 min	44,7-164,7	120,0 min

Przerwa	Wzrost: start-koniec (min)	Czas trwania wzrostu	Spadek: start-koniec (min)	Czas trwania spadku
3	0,0-29,9	29,9 min	29,9-109,8	80,0 min
4	0,0-43,0	43,0 min	43,0-98,0	55,0 min
Średnia	0,0-43,0	43,0 min	43,0-120,5	77,5 min

Tabela 4a. Dokładny czas trwania fazy wzrostu i fazy spadku pierwszego cyklu glikemii w każdej z czterech przerw zawodnika B, liczony od pierwszego odczytu CGM po zejściu z roweru (minuta 0).

Zestawienie Tabeli 2a i 4a pokazuje wyraźną różnicę w tempie i długości pierwszego cyklu: u zawodnika A wzrost trwa średnio 16,2 minuty, a spadek 106,3 minuty; u zawodnika B wzrost trwa niemal trzykrotnie dłużej (43,0 minuty), a pierwszy spadek krócej (77,5 minuty), po czym w większości przerw następuje kolejny wzrost, którego u zawodnika A nie obserwuje się. Dłuższy wzrost u zawodnika B odzwierciedla czas potrzebny na wchłonięcie dużej, jednorazowej porcji węglowodanów (60-130 g CHO) w połączeniu z opóźnionym działaniem insuliny, podczas gdy u zawodnika A szczyt jest osiąganym szybciej i wynika głównie z mechanizmu endogennego (sekcja 3.2.1), niezależnego od tempa trawienia.

3.4 Porównanie obu profili

Zestawienie obu wzorców pokazuje wyraźną różnicę w mechanizmie regulacji glikemii w przerwach między zmianami:

- Zawodnik A: jeden łagodny cykl wzrost-spadek na przerwę, amplituda ok. 2-4 mmol/L, sterowany głównie fizjologią wysiłku→odpoczynek.
- Zawodnik B: dwa- trzy gwałtowne cykle wzrost-spadek na przerwę, amplituda 10-17 mmol/L, sterowany głównie timingiem posiłków i insuliny względem zmiany rodzaju aktywności.
- U zawodnika A odpoczynek wiąże się średnio z niższą glikemią niż jazda; u zawodnika B odwrotnie, z wyraźnie wyższą, co odzwierciedla dominujący wpływ karbo-ładowania i opóźnionej insuliny nad samym efektem ustania wysiłku.
- Najniższe odczyty u obu zawodników są zbliżone (3,8 mmol/L), ale u zawodnika A jest to efekt narastającego niedoboru energetycznego, a u zawodnika B efekt przedawkowania insuliny względem zjedzonych węglowodanów (przewidywalne, ale trudne do idealnego wykalibrowania w warunkach wyścigowych).

3.5 Subiektywny raport zawodnika A: zestawienie z danymi

Po wyścigu zawodnik A sporządził własny raport z odczuciami z poszczególnych zmian. Zestawienie tych obserwacji z danymi ilościowymi pokazuje dobrą zgodność subiektywnego odczucia z obiektywnym przebiegiem glikemii i mocy.

- Strategia żywieniowa: zawodnik zgłosił, że dawkowanie 22,5 g Żelu co 20 minut sprawdzało się wyraźnie lepiej niż pojedyncze porcje 45 g, przy których „nogi pracowały gorzej, a moc częściej spadała”. W zmianach, w których stosował ten schemat najbardziej konsekwentnie (2 i 4), glikemia pozostawała najbardziej stabilna względem wysiłku.
- Zmiana 1, boczny wiatr: zawodnik zgłosił problem ze stabilnością na zjeździe przy silnym bocznym wietrze, niezwiązany z odżywianiem, spójne z tym, że w tej zmianie (poza analizowanym oknem 2-8) nie zaobserwowano nietypowych wychyleń glikemii tłumaczących trudności.
- Rutyna powysiłkowa: zawodnik zgłosił, że po każdej zmianie najpierw szedł się umyć, a dopiero potem jadł (opóźnienie ok. 27 minut). Analiza reakcji glikemii na posiłek (sekcja 3.2.1) pokazuje, że w trzech z czterech przerw ta sama porcja ok. 107 g CHO nie wywołała żadnego wzrostu glikemii, spójne z hipotezą, że okno wysokiej wrażliwości insulinowej tuż po wysiłku zostało przegapione.

- Zmiana 3 i 4, narastające zmęczenie: zawodnik opisał rosnącą trudność w utrzymaniu tempa grupy i wyraźny spadek mocy przy opóźnionym żelu, a także sugerował, że w dwóch ostatnich zmianach powinien być zjeść więcej ryżu. To pokrywa się z pojawieniem się silnej ujemnej korelacji glikemia-moc dopiero w zmianach 6 i 8 (czasowo odpowiadających jego "3. i 4. zmianie" we własnej numeracji), a dane obiektywne potwierdzają, że w drugiej połowie wyścigu bieżące zaopatrzenie w węglowodany przestawało nadążać za zapotrzebowaniem.
- Po wyścigu: zgłoszone silne zmęczenie, lekkie odwodnienie i ból mięśni utrzymujący się dwa dni są spójne z obrazem narastającego w czasie deficytu energetycznego widocznym w przerwach (sekcja 3.2)
- Zawodnik samodzielnie sformułował wniosek, że w drugiej części wyścigu zabrakło większej ilości stałych węglowodanów (ryż, banany). To subiektywna ocena, do której dane obiektywne (malejąca stabilność glikemii względem wysiłku w zmianach 6 i 8, powtarzalne dołki poniżej 4,7 mmol/L / 85 mg/dL w przerwach) dają niezależne, ilościowe potwierdzenie.

3.6 Subiektywny raport zawodnika B: zestawienie z danymi

Zawodnik B sporządził również własny raport, w którym wskazał dwa czynniki istotnie wpływające na przebieg glikemii, niewynikające bezpośrednio z mechanizmu wysiłek-odpoczynek opisanego w sekcji 3.3.

- Pominięta dawka insuliny długodziałającej: zawodnik zgłosił, że zapomniał przyjąć standardowej wieczornej dawki insuliny długodziałającej (Lantus), którą normalnie przyjmuje o godz. 22:00. Ponieważ ta pora przypada niemal dokładnie na początek Przerwy 2 (22:02), od tego momentu aż do końca wyścigu zawodnik funkcjonował bez pokrycia bazowego, opierając się wyłącznie na doraźnych bolusach insuliny krótkodziałającej. To spójne z danymi: trzy najbardziej gwałtowne epizody (Przerwa 2: -12,9 mmol/L, Przerwa 3: -9,4 mmol/L, Przerwa 4: -12,3 mmol/L) wystąpiły już po tej godzinie, podczas gdy Przerwa 1 (przed 22:00, choć również skrajna: +12,1/-5,4 mmol/L) miała inne, prawdopodobne podłoże (patrz niżej).
- Zmęczenie i odwodnienie w 1. zmianie: zawodnik zgłosił silne zmęczenie i odwodnienie w trakcie pierwszej zmiany, związane z wysoką temperaturą otoczenia. Odwodnienie i stres cieplny mogą podwyższać glikemię (zagęszczenie krwi, nasilona odpowiedź kortyzolowa) oraz zaburzać wchłanianie insuliny podawanej podskórną, co mogło przyczynić się do wyjątkowo wysokiego szczytu glikemii w Przerwie 1 (20,8 mmol/L), niezależnie od samej ilości spożytych węglowodanów.
- Zawodnik ocenił, że oba te czynniki, kumulując się, istotnie pogorszyły jakość regeneracji w drugiej połowie wyścigu, co pokrywa się z obserwacją z sekcji 3.1: Średnia glikemia zawodnika B w fazie odpoczynku (11,50 mmol/L) była wyraźnie wyższa i mniej stabilna niż w fazie jazdy (9,45 mmol/L).

Te dwa czynniki, pominięcie insuliny bazowej i odwodnienie cieplne w pierwszej zmianie, należy traktować jako istotne zakłócenia eksperymentalne, a nie jako integralną część mechanizmu "wysiłek-odpoczynek-insulina" opisanego w sekcji 3.3. Ich obecność ogranicza możliwość jednoznacznego oddzielenia efektu samego formatu sztafety od efektu tych dwóch niezależnych zdarzeń, co dodatkowo podkreśla potrzebę powtórzenia obserwacji w warunkach pełnego, niezakłóconego schematu dawkowania insuliny (sekcja 6).

3.7 Wydatek energetyczny w zmianie a głębokość spadku glikemii w kolejnej przerwie

Aby sprawdzić, czy intensywność samej zmiany (niezależnie od tego, z kim i w jakim tempie jechał dany zawodnik na torze) przekłada się na przebieg glikemii w następującej po niej przerwie, obliczono łączną pracę wykonaną w każdej zmianie (całka mocy po czasie, w kJ) i zestawiono ją z dwiema miarami kolejnej przerwy: wartością bezwzględną dołka glikemii oraz wielkością samego spadku (różnica szczyt-dołek). Praca w kJ jest miarą sumaryczną dla całej zmiany, dzięki czemu jest mniej wrażliwa na chwilowe różnice tempa wynikające z jazdy w grupie z innymi zawodnikami niż porównania chwilowej mocy.

Zawodnik	Zmiana → Przerwa	Praca (kJ)	Szczyt (mmol/L)	Dołek (mmol/L)	Δ spadku (mmol/L)
A	2 → P1	2190	8,5	4,4	4,1
A	4 → P2	2787	8,3	3,8	4,5
A	6 → P3	2307	8,0	4,7	3,3
A	8 → P4	1449	8,2	4,6	3,6
B	1 → P1	2220	20,8	15,3	5,4
B	3 → P2	2262	16,8	3,8	12,9
B	5 → P3	2850	14,5	5,1	9,4
B	7 → P4	1701	16,7	4,3	12,3

Tabela 7. Praca wykonana w każdej zmianie zestawiona ze szczytem, dołkiem i wielkością spadku glikemii w następującej po niej przerwie.

Zawodnik	Korelacja: praca → wartość bezwzględna dołka	Korelacja: praca → wielkość spadku (Δ)
A	r = -0,71	r = +0,58
B	r = +0,01	r = -0,31

Tabela 7a. Współczynniki korelacji między pracą wykonaną w zmianie a dwiema miarami przebiegu glikemii w kolejnej przerwie (n=4 dla każdego zawodnika).

U zawodnika A obie miary wskazują ten sam kierunek: im więcej pracy wykonał w zmianie, tym gorszy (głębszy) był późniejszy spadek glikemii, zarówno pod względem wartości bezwzględnej dołka ($r=-0,71$), jak i samej wielkości spadku ($r=+0,58$). To ilościowo potwierdza mechanizm deficytu energetycznego opisany w sekcji 3.2.1: cięższa fizycznie zmiana zostawia po sobie głębszy "dług", który ujawnia się dopiero w trakcie regeneracji. U zawodnika B obie korelacje są bliskie zeru lub słabe ($r=0,01$ i $r=-0,31$) - ilość wykonanej pracy w zmianie nie przekłada się w sposób przewidywalny na przebieg glikemii w kolejnej przerwie, co jest zgodne z ustaleniem z sekcji 3.3 i 3.7, że u zawodnika B dominującym czynnikiem jest logistyka posiłek-insulina, a nie sam wydatek energetyczny wysiłku. Ze względu na $n=4$ dla każdego zawodnika wyniki te mają charakter wyłącznie opisowy i kierunkowy, nie stanowią dowodu statystycznego.

3.8 Węglowodany w przerwie a moc w kolejnej zmianie

Osobnym pytaniem jest, czy ilość węglowodanów spożytych w przerwie przekłada się na wydajność w kolejnej zmianie. Aby ominąć problem porównywania surowych watów między zawodnikami jadącymi w różnym tempie grupowym, moc w każdej zmianie wyrażono jako procent własnej średniej mocy danego zawodnika z całego wyścigu ("moc względna") - dzięki temu porównanie dotyczy wyłącznie zawodnika względem samego siebie.

Zawodnik	Przerwa	Długość przerwy	CHO w przerwie	Kolejna zmiana	Moc względna
A	1	182 min	175 g	4	96,8%
A	2 (nocna)	248 min	203 g	6	101,2%
A	3	115 min	203 g	8	98,7%
B	1	185 min	141 g	3	98,7%
B	2 (nocna)	225 min	63 g	5	90,3%
B	3	179 min	204 g	7	112,0%

Tabela 8. Długość przerwy, spożyte węglowodany oraz moc w kolejnej zmianie (jako % własnej średniej mocy z całego wyścigu).

Zawodnik	CHO → moc względna	Długość przerwy → CHO	Długość przerwy → moc względna
A	$r = +0,82$	$r = -0,00$	$r = +0,56$
B	$r = +0,98$	$r = -0,94$	$r = -0,86$

Tabela 8a. Współczynniki korelacji między długością przerwy, ilością spożytych węglowodanów i mocą względną w kolejnej zmianie ($n=3$ dla każdego zawodnika).

U zawodnika A związek między CHO a mocą w kolejnej zmianie ($r=+0,82$) nie wynika z samej długości przerwy: długość przerwy praktycznie nie koreluje z ilością zjedzonych węglowodanów ($r=-0,00$, zawodnik trzyma się stałego schematu żywieniowego niezależnie od czasu trwania przerwy), a jej związek z mocą jest wyraźnie słabszy niż związek z CHO ($r=+0,56$ vs $+0,82$). To wzmacnia wiarygodność związku CHO-moc jako odrębnego, niezależnego sygnału.

U zawodnika B obraz jest inny i wymaga ostrożniejszej interpretacji. Długość przerwy silnie koreluje zarówno z ilością CHO ($r=-0,94$), jak i z mocą w kolejnej zmianie ($r=-0,86$) - a wszystkie trzy zmienne opisują w dużej mierze to samo zdarzenie: Przerwa 2 (nocna) była jednocześnie najdłuższa, miała najmniej spożytych węglowodanów (63 g) i poprzedzała naj słabszą kolejną zmianę względem własnej średniej (90,3%) - dokładnie tę, w której zawodnik pominął dawkę insuliny długodziałającej (sekcja 2.3). Przy tylko trzech punktach danych i jednym tak wyraźnie odstającym, silna korelacja $r=+0,98$ jest w praktyce zdominowana przez ten jeden epizod, a nie potwierdzona trzema niezależnymi obserwacjami. Wynik jest spójny z własnym raportem zawodnika B, ale należy go traktować jako opis jednego wyrazistego przypadku, a nie samodzielny dowód ogólnej zależności.

Przy $n=3$ na zawodnika Żaden z tych wyników nie stanowi dowodu statystycznego- to pojedyncze, interesujące obserwacje (szczególnie spójne z własnym raportem zawodnika B), które warto sprawdzić na większej grupie zawodników i większej liczbie przerw, zanim będzie można wyciągnąć jednoznaczne wnioski.

4. Dyskusja

Wyniki sugerują, że w formacie sztafety z częstą zmianą aktywności (wysiłek ↔ odpoczynek) zawodnik z cukrzycą typu 1 mierzy się z istotnie większym wyzwaniem regulacyjnym niż zawodnik zdrowy, nie tylko z powodu samej cukrzycy, ale ze względu na konieczność szybkiego, powtarzalnego dawkowania insuliny w odpowiedzi na duże porcje węglowodanów przyjmowane w krótkim czasie na starcie każdej przerwy. U zawodnika bez cukrzycy własny układ regulacji radzi sobie z tym przejściem zupełnie inaczej: dane wskazują na mechanizm opóźnionej hipoglikemii powysiłkowej (sekcja 3.2.1), w którym spadek glikemii rozpoczyna się w ciągu pierwszych 10-25 minut odpoczynku w efekcie naturalnego rebound insuliny i zwiększonej wrażliwości insulinowej mięśni, niezależnie od tego, czy i kiedy zawodnik zaczyna jeść. W drugiej połowie wyścigu zjawisko to nakłada się dodatkowo na rosnącą zależność między spadkiem glikemii a spadkiem mocy w trakcie samej jazdy (sekcja 3.5), co wskazuje na narastający w czasie deficyt energetyczny.

Co istotne, u zawodnika bez cukrzycy zjawisko to było w pełni niewidoczne dla niego samego w czasie rzeczywistym: subiektywnie odczuwał jedynie narastające zmęczenie i trudność w utrzymaniu tempa, a konkretną przyczynę był w stanie zidentyfikować i nazwać dopiero po fakcie, przy sporządzaniu własnego raportu. Ciągły zapis CGM pozwolił natomiast wychwycić moment, w którym spadek się rozpoczynał, w ciągu pierwszych kilkunastu minut odpoczynku, zanim jeszcze przełożył się odczuwalnie na wynik. Sugeruje to, że korzyść z takiego monitoringu podczas wielogodzinnego wysiłku nie musi ograniczać się do zawodników z zaburzeniami gospodarki węglowodanowej.

Z perspektywy praktycznej dla zawodnika B wynika z tego wskazówka do rozważenia w kolejnych startach: rozbić dużego posiłku po zmianie na mniejsze porcje rozłożone w czasie (zamiast jednorazowych 60-110 g CHO) oraz wcześniejsze, mniejsze dawki korekcyjne insuliny mogłyby ograniczyć amplitudę wahań i zmniejszyć ryzyko hipoglikemii tuż przed kolejną zmianą. Dla zawodnika A obserwacja wskazuje na dwa uzupełniające się kierunki: zwiększenie podaży stałych węglowodanów (np. ryżu, bananów, zgodnie z jego

własną oceną) w drugiej połowie każdej przerwy i każdej zmiany, a także, co wynika z analizy timingu w sekcji 3.2.1, przyjęcie pierwszej porcji węglowodanów natychmiast po zejściu z roweru, przed czynnościami higienicznymi, tak by objąć nią okno najwyższej wrażliwości insulinowej.

5. Wnioski

- Przejście z wysiłku do odpoczynku w warunkach 24-godzinnej sztafety wywołuje odmienne, ale w obu przypadkach powtarzalne i przewidywalne wzorce glikemiczne.
- U zawodnika bez cukrzycy dominuje łagodny, jednofazowy wzorec sterowany fizjologią wysiłku i stopniowo narastającym deficytem energetycznym.
- U zawodnika z cukrzycą typu 1 dominują duże, wielofazowe wahnięcia sterowane logistyką posiłek-insulina, z istotnie większą amplitudą i odwróconą relacją jazda/odpoczynek względem zawodnika zdrowego.
- Ciągły monitoring glikemii wykazuje potencjał jako narzędzie wspomagające regulację intensywności wysiłku i zarządzanie regeneracją powysiłkową, zarówno u zawodników z cukrzycą, jak i bez niej, jednak potwierdzenie tej użyteczności w praktyce treningowej wymaga dalszych, szerzej zakrojonych testów pilotażowych.
- Ze względu na 2 uczestników, wnioski mają charakter hipotezotwórczy i wymagają potwierdzenia na większej grupie zawodników, w tym zawodników bez cukrzycy, w formacie ultra-wytrzymałościowym.

6. Kierunki dalszego rozwoju projektu

W kolejnej edycji pilotażu planowane jest zestawienie danych CGM z równoległym pomiarem mleczanu i oksigenacji mięśniowej, co pozwoli powiązać opisaną tu dynamikę glikemii z metabolizmem beztlenowym i lokalnym zużyciem tlenu w mięśniach podczas wysiłku i odpoczynku. Istotnym uzupełnieniem będzie także powtórzenie obserwacji u zawodnika z cukrzycą typu 1 przy w pełni prawidłowo zrealizowanym schemacie dawkowania insuliny (w tym insuliny bazowej), co pozwoli oddzielić efekt samego formatu sztafety od zakłóceń wynikających z pominiętych dawek.

7. Podziękowania

Autorzy dziękują firmie Proglykemia sp. z o.o., oficjalnemu dystrybutorowi systemów CGM Dexcom w Polsce, za udostępnienie technologii ciągłego monitorowania glikemii wykorzystanej w niniejszym projekcie pilotażowym. Podziękowania kierujemy również do obu zawodników za pełne zaangażowanie w protokół pomiarowy oraz rzetelne prowadzenie dzienników żywieniowych i insulinowych w trakcie 24-godzinnego wysiłku.

Źródła danych: Dexcom CGM, Garmin (moc/tętno/kadencja/prędkość), dziennik żywieniowo-insulinowy prowadzony na bieżąco podczas wyścigu Ring24, Hungaroring, 11-12 lipca 2026.