

GDAŃSKI UNIWERSYTET MEDYCZNY W GDAŃSKU

Wydział Lekarski

Agnieszka Lejk

Spójny tematycznie zbiór artykułów naukowych pod tytułem:

***WPLYW ZMIAN NAWYKÓW ŻYWIENIOWYCH
NA POZIOM WYRÓWNANIA METABOLICZNEGO
CUKRZYCY TYPU 1 U DZIECI I MŁODZIEŻY***

Promotor

prof. dr hab. n. med. Małgorzata Myśliwiec

Gdańsk 2023

Podziękowania

Przede wszystkim pragnę podziękować mojemu Promotorowi oraz Mentorowi - Pani Profesor dr hab. n. med. Małgorzacie Myśliwiec. Dziękuję za inspirację i motywację oraz nieocenioną pomoc w stawianiu pierwszych kroków w dziedzinie nauki, a także za poświęcony czas i merytoryczne wsparcie w tworzeniu pracy doktorskiej.

Moje podziękowania kieruję także do Profesora dr hab. n. med. Wojciecha Fendlera i całego wspaniałego zespołu z Zakładu Biostatystyki i Medycyny Translacyjnej Uniwersytetu Medycznego w Łodzi. Dziękuję Państwu za zaangażowanie oraz ogromne wsparcie naukowe w zakresie analizy statycznej.

Serdecznie dziękuję wszystkim współpracownikom, koleżankom i kolegom z Kliniki Pediatrii, Diabetologii, Endokrynologii Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego, którzy stanowili ogromne wsparcie w trakcie trwania badań.

Swoje podziękowania za wsparcie naukowe kieruję także do Kierownika oraz całego Zespołu Katedry Zdrowia i Nauk Przyrodniczych Akademii Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku. W sposób szczególny pragnę wyrazić swoją wdzięczność za współpracę naukową Panu dr n. o kult. fiz. Arturowi Myśliwiec.

Szczególne podziękowania składam mojej Mamie, za zaszczepienie we mnie pasji do tworzenia oraz odkrywania niesamowitych właściwości jedzenia i ich wpływu na zdrowie człowieka, a także całej mojej Rodzinie za to, że codziennie mocno wspiera mnie w realizacji marzeń.

SPIS TREŚCI

1. Streszczenie spójnego tematycznie cyklu artykułów naukowych pt. *Wpływ zmian nawyków żywieniowych na poziom wyrównania metabolicznego cukrzycy typu 1 u dzieci i młodzieży*.....5
2. Artykuły naukowe wchodzące w skład spójnego tematycznie cyklu artykułów naukowych pt. *Wpływ zmian nawyków żywieniowych na poziom wyrównania metabolicznego cukrzycy typu 1 u dzieci i młodzieży*.
 - 2.1. A. Lejk, J. Chrzanowski, A. Cieślak, W. Fendler, M. Myśliwiec. *Effect of Nutritional Habits on the Glycemic Response to Different Carbohydrate Diet in Children with Type 1 Diabetes Mellitus. Nutrients 2021 Oct 27;13(11):3815.*
DOI: 10.3390/nu13113815.....33
Wskaźnik Impact Factor ISI: 6.706, Punktacja MNiSW: 140
 - 2.2. A. Lejk, J. Chrzanowski, A. Cieślak, W. Fendler, M. Myśliwiec. *Reduced Carbohydrate Diet Influence on Postprandial Glycemia-Results of a Short, CGM-Based, Interventional Study in Adolescents with Type 1 Diabetes. Nutrients 2022 Nov 5;14(21):4689*
DOI: 10.3390/nu14214689.45
Wskaźnik Impact Factor ISI: 6.706, Punktacja MNiSW: 140
 - 2.3. A. Myśliwiec, A. Lejk, M. Skalska, J. Jastrzębska, B. Sztangierska, Z. Jastrzębski. *Assessment of the diet of male adolescents suffering from type 1 diabetes. Pediatr Endocrinol Diabetes Metab. 2021;27(1):7-11.*
DOI: 10.5114/pedm.2020.101805.....53
Punktacja MNiSW: 70
3. Oświadczenia współautorów o wkładzie pracy w powstanie artykułów naukowych dotyczących ich kompilacji w dysertacji doktorskiej.....59
4. Podsumowanie w języku angielskim cyklu prac pt. *Wpływ zmian nawyków żywieniowych na poziom wyrównania metabolicznego cukrzycy typu 1 u dzieci i młodzieży*.....71

1. Streszczenie spójnego tematycznie cyklu artykułów naukowych pt. *Wpływ zmian nawyków żywieniowych na poziom wyrównania metabolicznego cukrzycy typu 1 u dzieci i młodzieży.*

Wprowadzenie

Cukrzyca typu 1 (diabetes mellitus type 1, DMT1) jest chorobą autoimmunologiczną, w której dochodzi do defektu działania i/lub niedoboru insuliny poprzez destrukcję komórek beta trzustki charakteryzującą się hiperglikemią [1]. Niewłaściwie kontrolowana może prowadzić do stanów zagrożenia życia takich jak: cukrzycowa kwasica ketonowa i nieketonowa śpiączka hiperosmolarna oraz hipoglikemia [2]. T1DM jest jedną z najczęstszych niezakaźnych chorób przewlekłych wśród polskich dzieci [3]. W ciągu ostatnich pięciu lat zapadalność na T1DM wzrosła w Polsce 1,5-krotnie w populacji poniżej 18 roku życia [4].

Dotychczasowa wiedza medyczna przedstawia prowadzone badania w kierunku metod prewencyjnych w zapobieganiu cukrzycy typu 1 zarówno w populacji ogólnej, jak i u osób z grupy ryzyka, ale nadal dziś jedynym sposobem leczenia jest insulinoterapia. Polega ona na modelu wielokrotnych wstrzyknięć (multiple daily injections, MDI) lub ciągłym podskórnym wlewie insuliny (continuous subcutaneous insulin infusion, CSII) przy użyciu osobistej pompy insulinowej [5]. Obecnie do samokontroli glikemii pacjent coraz częściej zamiast glukometru używa system monitorowania glikemii oparty na metodzie skanowania (flash glucose monitoring, FGM), który składa się z sensora przekazującego informacje po uprzednim zbliżeniu do niego czytnika lub telefonu [6]. Jednak popularyzacja u dzieci i młodzieży terapii osobistą pompą insulinową zwiększyła wykorzystanie system ciągłego monitorowania glikemii w czasie rzeczywistym (continuous glucose monitoring, CGM). Dzięki urządzeniu CGM lub FGM pacjent uzyskuje informacje na temat poziomów glukozy i trendów zmian glikemii. Jednak różnica jest taka, że urządzenie CGM dostarcza nam informacje o poziomie glukozy we krwi co 5 minut uzyskując 288 pomiarów na dobę [7]. Dane CGM w czasie rzeczywistym mogą dostarczać informacji do samodzielnego zarządzania (np. dawkowania insuliny), dostarczać alertów (np. ostrzeżeń o hipoglikemii) [8]. Dodatkowo zarówno pacjenci jak i cały zespół opieki diabetologicznej uzyskał nowe parametry lepszego wyrównania metabolicznego takie jak: współczynnik zmienności (coefficient of variation, CV), czas w zakresie docelowym (time in range, TIR, 70–180 mg/dl), czas powyżej zakresu (time above range, TAR > 180 mg/dl) i czas poniżej zakresu (time below range, TBR < 70 mg/dl) [9]. Przyjmuje się, że pacjent, u którego czas w zakresie docelowym (TIR) jest powyżej 70 %, a współczynnik zmienności ≤ 36 % ma mniejsze ryzyko wystąpienia ostrych i przewlekłych powikłań [10].

Według Diabetes Poland dzieci i młodzież z cukrzycą typu 1 powinny być leczone intensywną insulinoterapią i stosować systemy ciągłego monitorowania glikemii od samego początku trwania choroby, aby poprawić wyrównanie metaboliczne cukrzycy i zmniejszyć ryzyko wystąpienia ostrych i przewlekłych powikłań [11].

Oprócz insulinoterapii istotną rolę w leczeniu cukrzycy odgrywa prawidłowe odżywianie i aktywność fizyczna [12]. Zgodnie z Zaleceniami Klinicznymi Polskiego Towarzystwa Diabetologicznego z 2022 węglowodany powinny pokrywać 45 – 60% dziennego zapotrzebowania energetycznego, a zawarte w nich cukry proste nie powinny przekraczać 10%. Bardzo wysoka podaż węglowodanów jest zalecana tylko i wyłącznie pacjentom, którzy podejmują zwiększoną aktywność fizyczną. Z kolei niższa od 45% podaż energii pochodząca z węglowodanów może być czasowo zalecana osobom o bardzo małej aktywności [13]. Należy zwrócić uwagę, aby głównym źródłem węglowodanów były produkty o niskim indeksie glikemicznym ($IG < 55$). Prawidłowo zbilansowany jadłospis powinien zawierać produkty pełnoziarniste: pieczywo razowe z mąk o grubym przemyśle (np. mąka żytnia, orkiszowa, typu graham); płatki owsiane, orkiszowe, żytnie; kasze gruboziarniste (jęczmienne, gryczane); ryż brązowy lub dziki; makarony razowe i pełnoziarniste. Bardzo istotna jest również obróbka termiczna wyżej wymienionych produktów [14]. Pod wpływem procesu ich przetwarzania (rozdrabnianie, rozgotowywanie) znajdujące się w nich węglowodany szybciej się przyswajają co powoduje szybszy wzrost poziomu glukozy we krwi. Powodem takiej sytuacji jest fakt, że obróbka termiczna rozkłada węglowodany zawarte w produkcie na krótsze cząsteczki, co przyspiesza przyswajanie cukru zawartego w produkcie [15].

Z drugiej strony zawartość błonnika pokarmowego oraz skrobi opornej w produkcie działa odwrotnie zmniejszając indeks glikemiczny. Należy pamiętać, aby spożywać odpowiednią jego ilość około 25 g lub 15 g/1000 kcal diety [16]. Zarówno błonnik pokarmowy jak i skrobia oporna nie są metabolizowane w organizmie człowieka, co oznacza, że nie wpłyną na poziom glukozy we krwi. Najwięcej błonnika pokarmowego będą zawierały produkty pełnoziarniste, surowe warzywa i owoce [17]. W przypadku skrobi opornej powstaje ona w momencie wychładzania bądź czerstwienia produktu. W takim przypadku najlepiej spożywać chłodne pieczywo, wystudzone makarony, kasze, ryż czy ziemniaki. Istotne jest, aby produkty były wcześniej ugotowane, następnie wystudzone i podgrzane. Dobrym sposobem jest również mrożenie np. pieczywa [18]. Wszystkie wyżej wymienione sposoby wpływają znacząco na obniżenie indeksu glikemicznego i stabilizację poziomu glukozy we krwi. Kolejnym równie

istotnym pojęciem jest ładunek glikemiczny, który mówi nam o porcji spożywanych węglowodanów. Pomimo, że dany produkt ma niski indeks glikemiczny spożywanie go w dużych ilościach wywołuje taki sam wzrost poziomu glukozy we krwi jak w przypadku spożywania produktu z wysokim indeksem glikemicznym w małych ilościach [19]. Dodatkowo należy ograniczyć spożycie węglowodanów prostych (jedno- i dwucukrów) oraz ograniczyć tzw. cukry dodane np. w procesie produkcji potraw. Zalecane jest ograniczenie również wolnych cukrów, których źródłem są przede wszystkim cukier i słodycze, ale również miód, soki i napoje owocowe. Substancje słodzące (słodziki) mogą być stosowane w dawkach zalecanych przez producenta, a dzienne spożycie fruktozy nie powinno przekraczać 50 g [20]. Białko powinno pokrywać 15 - 20% dziennego spożycia kalorii, a tłuszcze 25 - 40% [21]. Obecne zalecenia ISPAD (International Society for Pediatric and Adolescent Diabetes) jeszcze bardziej ograniczają spożycie węglowodanów do 40 – 50 % całodziennej podaży energii oraz tłuszczu < 35 %. Zapotrzebowanie na białko nieznacznie się zwiększa i wynosi 15 – 25 % całodziennej podaży kalorii [22].

Podsumowując światowe jak i polskie zalecenia żywieniowe są bardzo podobne i opierają się o zasady prawidłowego żywienia dzieci zdrowych. Niemniej jednak bardzo często nie są one stosowane przez ogół pacjentów. Wiele publikacji wspomina o występowaniu licznych błędów żywieniowych u dzieci i młodzieży chorujących na cukrzycę typu 1. Zespół badaczy Pattona S.R. [23] przeanalizował makroskładniki odżywcze i zalecenia dietetyczne u dzieci z T1DM, które wykazały wyższe niż zalecane spożycie tłuszczów i niższe niż zalecane spożycie owoców, warzyw i produktów pełnoziarnistych. Nansel T.R. i wsp. [24] oraz Meissner T. i wsp. [25] doszli do podobnych wniosków.

Coraz częściej temat zbilansowanej diety z ograniczeniem ilości węglowodanów pojawia się w artykułach naukowych. Przykładem są Krebs DJ i in. [26] oraz Seckold R. i in., którzy [27] zasugerowali, że ograniczenie węglowodanów w diecie może korzystnie wpływać na kontrolę glikemii. Jednak nie było wzmianki o konsekwencjach zmniejszonej podaży węglowodanów na proces wzrastania u dzieci oraz ogólnych zaleceń co do zmniejszania podaży węglowodanów w diecie.

Kolejnym wyzwaniem była pandemia COVID – 19 na świecie, która niekorzystnie wpłynęła na styl życia nie tylko pacjentów z cukrzycą typu 1. Lockdown i liczne obostrzenia nasiliły spożycie żywności wysokoprzetworzonej oraz skłoniły do siedzącego trybu życia. Pomimo zniesienia obostrzeń związanych z COVID – 19 problemy żywieniowe polskiej populacji pediatrycznej pozostały i można stwierdzić, że również się nasiliły. Zwiększyło się spożycie

cukrów prostych w formie soków owocowych, napojów gazowanych czy słodczy. Pojawiło się więcej przekąsek oraz fast foodów. Ponadto obserwuje się przewagę siedzącego trybu życia w czasie pandemii nad aktywnością fizyczną. W sumie prowadzi to do nadwagi i otyłości wśród polskich dziewcząt i chłopców (odpowiednio 14% i prawie 20%) [28]. Jedno z badań przeprowadzonych w gminie Gdańsk w latach 2008-2016 wykazało, że częstość występowania nadwagi i otyłości wśród dzieci w wieku 6-7 lat wynosiła odpowiednio 7,49% i 4,24% [29]. Niestety w Polsce brakuje programów edukacyjnych i interwencyjnych dotyczących rozpowszechnienia nadmiernej masy ciała i jej konsekwencji u dzieci. Jednym z nielicznych tego typu programów interwencyjnych jest „6-10-14 dla zdrowia” dla otyłych dzieci z gminy Gdańsk, w ramach którego zarówno uczestnikom, jak i członkom ich rodzin proponuje się 12-miesięczną zintegrowaną interwencję, obejmującą poradnictwo medyczne, dietetyczne i psychologiczne, a także warsztaty edukacyjne dla rodziców [30].

Co zaskakujące, niektóre badania przeprowadzone w czasie pandemii pokazały zupełnie inną perspektywę. Głąbska D. i wsp. doszli do wniosku, że era COVID-19 mogła zmienić wybory żywieniowe polskiej młodzieży zwiększając samokontrolę zdrowia i masy ciała [31]. Łuszczki E. i wsp. są podobnego zdania, a nawet podkreślają, że wzorce żywieniowe są obecnie lepsze niż przed pandemią [32]. Choć badania te dają nadzieję na poprawę ogólnego podejścia żywieniowego wśród polskich dzieci, nie można zapominać, że problem niewłaściwych wzorców żywieniowych jest nadal bardzo powszechny.

Podsumowując wiele mówi się o prawidłowym odżywianiu, ograniczeniu spożycie węglowodanów w diecie pacjentów z cukrzycą typu 1. Jednak dotychczas nie pojawiły się jednolite zalecenia na ten temat. Dlatego celem niniejszych prac było pokazanie jak nawyki żywieniowe oraz wprowadzenie interwencji dietetycznych wpłynie na glikemię poposiłkową u dzieci i młodzieży z cukrzycą typu 1.

Założenia metodologiczne badań

Celem załączonych prac było określenie wpływu nawyków żywieniowych na kontrolę glikemii i poziomu wyrównania metabolicznego u dzieci i młodzieży z cukrzycą typu 1 uwzględniając wprowadzenie interwencji dietetycznych mających na celu ograniczenie podaży węglowodanów do 30% całodziennej podaży energii oraz wprowadzeniu podaży węglowodanów na poziomie 50% całodziennej podaży energii z wykorzystaniem systemu ciągłego monitorowania glikemii. Przed rozpoczęciem badań przyjęto następujące pytania i hipotezy badawcze.

Pytania badawcze

1. Jaki jest wpływ wprowadzenia diety z ograniczeniem ilości węglowodanów do 30 % całodziennej podaży energii na kontrolę glikemii?
2. Jak spożycie 50 % energii z węglowodanów wpłynie na glikemię poposiłkową?
3. Czy dotychczasowe nawyki żywieniowe pacjentów mają wpływ na wystąpienie korzyści z wprowadzenia interwencji dietetycznej na poziomie 30 % lub 50 % energii z węglowodanów?

Hipotezy badawcze

1. Biorąc pod uwagę obecną wiedzę naukową ograniczenie spożycia węglowodanów wpływa na zmniejszoną podaż insuliny doposiłkowej oraz zmniejsza ryzyko powikłań metabolicznych.
2. Pacjenci spożywający zbyt dużą ilość węglowodanów w tym głównie cukrów prostych mają zwiększone ryzyko wystąpienia powikłań metabolicznych w przyszłości związanych z częstymi hiperglikemiami.
3. Dotychczasowe nawyki żywieniowe oraz poziom aktywności fizycznej ma istotny wpływ na odnoszenie korzyści ze stosowania różnych interwencji dietetycznych uwzględniając zmienne parametry makroskładników.

Prace będące elementem dwóch publikacji oparte były na eksperymencie, który polegał na wprowadzeniu dwóch 3-dniowych planów żywieniowych, następujących bezpośrednio po sobie, w których węglowodany pokrywały 30% i 50% dziennego zapotrzebowania energetycznego. Obie diety zostały opracowane zgodnie z Normami Żywienia Populacji Polski dla dzieci z uwzględnieniem płci, wieku pacjenta oraz aktywności fizycznej [33]. W planowaniu diet zwrócono uwagę na zasady diety o niskim indeksie glikemicznym. Każdy

pacjent spożywał 30% diety węglowodanowej podczas 3-dniowej hospitalizacji i 50% diety węglowodanowej w domu.

Do badania włączono 30 pacjentów (16 chłopców i 14 dziewcząt), u których mediana wieku wyniosła 16 lat (13-17 lat) z cukrzycą typu 1 rozpoznaną zgodnie z kryteriami wytycznych ISPAD [34] z co najmniej rocznym czasem trwania choroby i poziomem HbA1c $\leq 9,0\%$ [75 mmol/mol] pozostających pod opieką Kliniki Pediatrii, Diabetologii i Endokrynologii Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego. Kryteriami wykluczenia z udziału w badaniu były: współistniejące choroby przewlekłe związane z hipoglikemią lub specjalne wymagania dietetyczne (np. niedoczynność tarczycy, choroby wątroby, nerek, celiakia).

Protokół badania został zatwierdzony przez Komisję Bioetyczną Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego (nr NKBBN/299/2019). Każdy uczestnik i ich rodzic zostali poinformowani przez głównego badacza o protokole badania i podpisali pisemny formularz zgody.

Wszyscy pacjenci biorący udział w badaniu byli leczeni za pomocą osobistej pompy insulinowej (Medtronic Paradigm 722, Paradigm Veo 754 lub MiniMed 640G) z wykorzystaniem czujnika CGM (Enlite, Guardian Link 3). Za jego pomocą mierzono zmienność glikemii i wykorzystano następujące parametry: dzienny średni poziom glukozy, odchylenie standardowe (standard deviation, SD), współczynnik zmienności (CV) i czas w zakresie docelowym (TIR). Dane z CGM pacjentów zostały włączone do analizy tylko wtedy, gdy ich zapisy spełniały kryteria jakości, zdefiniowane jako co najmniej 70% dziennego czasu aktywności czujnika przez co najmniej 2 dni każdej interwencji dietetycznej. Zmienność glikemii obliczono z wykorzystaniem autorskiej implementacji wskaźników zmienności glikemii, zgodnie z wytycznymi American Diabetes Association.

W pierwszym dniu przed przystąpieniem do badania oceniono nawyki żywieniowe za pomocą kwestionariusza częstości spożycia FFQ-6. Kwestionariusz częstości spożycia (food frequency questionnaire, FFQ-6) został uzyskany od pacjentów pod ścisłym nadzorem głównego badacza. Służy on do zbierania informacji o częstości spożycia 62 różnych grup produktów, reprezentujących 8 głównych grup żywności (słodycze i przekąski, nabiał i jaja, zboża, tłuszcze, owoce i warzywa, mięso i ryby, napoje). Ankietowani mieli do wyboru 1 z 6 potencjalnych odpowiedzi dotyczących częstości spożywania żywności w ciągu ostatnich 12 miesięcy: (1) nigdy lub prawie nigdy, (2) raz w miesiącu lub rzadziej, (3) kilka razy w miesiącu, (4) kilka razy w tygodniu, (5) codziennie, (6) kilka razy dziennie [35]. Uzyskane dane są w formacie rangowym, dlatego przekodowaliśmy je na odpowiednie częstości, co zilustrowano w opisie cech kwestionariusza. Obliczone częstości z kwestionariusza zostały zsumowane w ramach kategorii, rozliczone na porcje w ciągu dnia i

porównane z zaleceniami europejskimi. W tym samym dniu pacjenci zostali poddani analizie składu ciała za pomocą analizatora składu ciała TANITA SC-240 MA.

Następnie każdemu pacjentowi wprowadzono dwa kolejne 3-dniowe plany żywieniowe, w których węglowodany stanowiły 30% i 50% dobowego zapotrzebowania energetycznego. Przed interwencją u każdego pacjenta przeprowadzono wywiad żywieniowy. Na jej podstawie stworzono obie diety zgodne ze standardami żywienia dzieci polskich w 2021 roku z uwzględnieniem płci, wieku i aktywności fizycznej pacjenta. Przy planowaniu diet zwracano uwagę na zasady diety o niskim indeksie glikemicznym, w tym na skrobię oporną czy przygotowywanie posiłków. Diety układano i oceniano za pomocą programu dietetycznego Aliant oraz oceniano za pomocą punktacji menu. Program Aliant to profesjonalny kalkulator dietetyczny dedykowany dietetykom i specjalistom ds. żywienia, którzy planują i oceniają indywidualne żywienie. Producent stworzył własną bazę produktową (3700 pozycji - produktów i dań gotowych), która stale się rozwija i wprowadza jednostki posiłków w postaci przyjaznych pacjentowi środków domowych - obecnie jest ich 3200 na ponad 1900 produktów. Dietę można realizować do 30 dni z maksymalnie 10 posiłkami dziennie, z możliwością ustawienia innej ilości posiłków każdego dnia [36].

Kalorie dla obu diet obliczono za pomocą wzoru na podstawową przemianę materii (basal metabolic rate, BMR) Harrisa Benedicta dla mężczyzn = $66,47 + (13,7 \times \text{idealna masa ciała w kg}) + (5 \times \text{wzrost w cm}) - (6,76 \times \text{wiek w latach})$ i dla kobiet = $655,1 + (9567 \times \text{idealna masa ciała w kg}) + (1,85 \times \text{wzrost w cm}) - (4,68 \times \text{wiek w latach})$.

Niski wskaźnik aktywności fizycznej został następnie dodany do całkowitego tempa metabolizmu (total metabolic rate, TMR). W diecie o ograniczonej zawartości węglowodanów tłuszcze stanowią 40%, a białka 30% dziennego zapotrzebowania energetycznego, podczas gdy w diecie gdzie węglowodany stanowiły 50% dziennego zapotrzebowania energetycznego, tłuszcze stanowiły 30%, a białko 20%. W końcowej fazie dobowe zapotrzebowanie energetyczne podzielono na pięć posiłków, przy czym trzeci posiłek („obiad”) charakteryzował się największą kalorycznością.

Plany żywieniowe składały się głównie z pełnoziarnistych produktów zbożowych, np. pieczywa żytniego, kaszy i ryżu brązowego, które stanowiły 90% energii z węglowodanów, natomiast cukry proste stanowiły do 10% i pochodziły z owoców lub naturalnych produktów mlecznych. Prawie w każdym posiłku pojawiały się surowe lub gotowane warzywa, które ze względu na niską kaloryczność stanowiły około 10% wartości energetycznej. W sumie 40 % energii z białka stanowiły naturalne produkty mleczne, np. jogurty i twarogi, a resztę stanowiły mięso lub ryby. Tłuszcze w dietach były głównie pochodzenia roślinnego, np.

orzechy i oleje roślinne. Zawartość węglowodanów w dietach utrzymywano na poziomie 3–5 g na kg masy ciała na dobę. Średnia zawartość błonnika w poszczególnych dietach wynosiła 30 g dziennie. Indeks insuliny planowanych posiłków był mniejszy lub równy 29.

Obie diety obejmowały pięć posiłków dziennie, podawanych w odstępach 3-godzinnych od 7:00 do 19:00. Drugie śniadanie składało się głównie z produktów pełnoziarnistych z porcją nabiału, natomiast popołudniowe przekąski składały się z owoców o niskim IG połączonych z orzechami lub jogurtami naturalnymi.

Podczas interwencji dietetycznych pacjenci byli uważnie monitorowani przez dietetyka, diabetologa, pielęgniarkę i głównego badacza. Pacjenci byli zobowiązani do ścisłego przestrzegania planu żywieniowego i unikania dodatkowego spożycia żywności. Podczas eksperymentu mierzono poziom glukozy we krwi za pomocą systemu ciągłego monitorowania glikemii (CGM) oraz samokontroli glikemii (self – monitoring of blood glucose, SMBG). CGM mierzyło średniąższowe stężenie glukozy w czasie rzeczywistym i nie było zaślepione, więc lekarz diabetolog i pacjenci mieli ciągły dostęp do stężeń glukozy. Lekarz diabetolog i dietetyk obliczyli dzienne zapotrzebowanie na insulinę wliczając insulinę bazową oraz bolusy doposiłkowe dla każdego pacjenta, aby zapewnić optymalną kontrolę glikemii. Zdarzenia niepożądane zdefiniowane jako ciężka hipoglikemia, cukrzycowa kwasica ketonowa lub reakcje alergiczne rejestrowano u wszystkich pacjentów w trakcie i 48 godzin przed i po interwencji dietetycznej.

Pacjenci zostali poddani pełnej ocenie klinicznej przeprowadzonej przez lekarza diabetologa na początku i po zakończeniu badania. Dodatkowo przed eksperymentem od każdego pacjenta pobrano próbki krwi w ramach standardowych procedur oceny klinicznej. U każdego pacjenta oznaczano profil lipidowy, hemoglobinę glikowaną (HbA1c), witaminę D (25-OHD) i enzymy wątrobowe (ALAT, AST). HbA1c oceniano metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC) z identyfikowalną zgodnością do Diabetes Control and Complications Trial zgodnie z programem NGSP (D-10 Hemoglobin A1c Program; Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA, Bio-Rad, Marnes-la-Coquette, Francja). Oznaczono stężenie 25-OHD dwuetapową metodą immunochemiczną z użyciem mikrocząstek i znacznika chemiluminescencyjnego CMIA [Abbott Laboratories, Niemcy], a enzymy wątrobowe (ALAT, AST) oceniano metodą HPLC.

Osiągnięcie naukowe jakie przedstawiono do ubiegania się o stopień naukowy doktora jest jednotematycznym cyklem trzech publikacji o łącznej punktacji IF 13,412 oraz punktacji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego 350 punktów (według analizy bibliometrycznej Pracowni Bibliograficznej Biblioteki Głównej Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego). W dwóch pracach naukowych doktorant jest pierwszym autorem i posiada wkład pracy w ich powstanie powyżej 50%. W trzeciej pracy naukowej doktorant posiada wkład pracy w jej powstanie na poziomie 20 %.

Streszczenie cyklu trzech opublikowanych prac naukowych:

Publikacja nr 1 : Effect of Nutritional Habits on the Glycemic Response to Different Carbohydrate Diet in Children with Type 1 Diabetes Mellitus.

Obecnie nie ma jednoznacznej wiedzy ani zaleceń związanych z wprowadzeniem diety niskowęglowodanowej u dzieci i młodzieży z cukrzycą typu 1, dlatego zdecydowaliśmy się zbadać ten problem. W publikacjach można doszukać się zarówno wad i zalet wprowadzania diety niskowęglowodanowej na kontrolę glikemii poposiłkowej. Jednak brakuje jednoznacznych danych na ten temat, a w szczególności jej wpływu na rozwój dzieci oraz konsekwencji w przyszłości. Runge i współpracownicy zauważyli, że zastosowanie diety o bardzo niskiej zawartości węglowodanów u pacjentów pediatrycznych może wiązać się z występowaniem częstszych hipoglikemii wymagających nawet podania glukagonu. Zwrócili oni również uwagę na spowolniony wzrost mięśni i pojawiające się odczucie długotrwałego zmęczenia u pacjentów przestrzegających restrykcyjnych zaleceń co do ilości węglowodanów w diecie [37]. Gallagher i współpracownicy rzucili nieco inne światło na potencjalne zagrożenia związane z dietami niskowęglowodanowymi takie jak: zbyt mała podaż kalorii w diecie i związane z tym niedobory składników mineralnych prowadzące do niskiego wzrostu, a także zaburzeń związanych z zachowaniami żywieniowymi [38]. Aholá A.J. i współpracownicy mieli przeciwne zdanie na temat diet niskowęglowodanowych. Porównali oni pacjentów na diecie niskowęglowodanowej do grupy kontrolnej. Wykazali, że lepsze parametry czasu w zakresie docelowym (TIR) oraz mniejszą tendencję do hiperglikemii mieli pacjenci na diecie niskowęglowodanowej [39]. Do podobnych wniosków doszedł Schmidt S., który zwrócił uwagę na uzyskanie lepszej glikemii poposiłkowej w grupie badanej z ograniczoną ilością węglowodanów w diecie [40].

Celem niniejszej pracy było określenie wpływu nawyków żywieniowych na kontrolę glikemii podczas wprowadzania dwóch interwencji dietetycznych: z ograniczeniem ilości węglowodanów do 30 % całodiennej podaży energii oraz z optymalną ilością węglowodanów na poziomie 50% całodiennej podaży energii z wykorzystaniem systemu ciągłego monitorowania glikemii.

Do badania włączono 30 pacjentów (16 chłopców i 14 dziewcząt), których średnia wieku wyniosła 16 lat (13 -17 lat). Wszyscy pacjenci byli w okresie dojrzewania, a większość z nich określono jako czwarty (N=8, 26,67%) i piąty (N=16, 53,33%) stopień w skali Tannera. 26 pacjentów (86,67%) mieściła się w granicach 95 centyla BMI dla wieku i płci; 1 pacjent miał

niedowagę (BMI centyl = 8,15), a 3 charakteryzowało się nadmierną masą ciała (BMI centyl = 97,069; 96,130; 97,683).

Po wstępnym sprawdzeniu jakości zapisów z CGM tylko u 23 pacjentów było na tyle zapisów, że zakwalifikowali się oni do kompleksowej oceny zmienności glikemii pomiędzy dwoma planami żywieniowymi, co dało łącznie 111 obserwacji. Dwa plany żywieniowe gdzie węglowodany stanowiły w kolejności 30 % i 50 % całodziennej podaży energii przygotowane zostały zgodnie z zasadami diety o niskim indeksie glikemicznym, z uwzględnieniem skrobi odpornej i regularnych godzin posiłków [41]. Dawki insuliny podawano pacjentom tylko i wyłącznie w przeliczeniu na węglowodany nie uwzględniając tym sposobem bolusów złożonych czy przedłużonych. Dodatkowo pacjenci byli odpowiednio nawodnieni wypijając co najmniej 2 litry wody niegazowanej dziennie, aby uniknąć błędów w odczytach z CGM. Wszyscy pacjenci nie podejmowali żadnej aktywności fizycznej podczas eksperymentu zarówno w warunkach hospitalizacji jak i również w domu, aby wykluczyć dodatkowe czynniki wpływające na zmienność glikemii. W trakcie badania nie zarejestrowaliśmy żadnych ostrych epizodów hipoglikemii lub hiperglikemii.

Według danych pochodzących z kwestionariusza częstości spożycia (FFQ-6) badana grupa miała podobne nawyki żywieniowe i popełniała porównywalne błędy żywieniowe w zakresie spożycia węglowodanów w porównaniu do ilości białka i tłuszczu w diecie.

Nasze badanie skupiło się na wpływie zmienności glikemii podczas wprowadzania u dzieci i młodzieży z cukrzycą typu 1 różnych interwencji żywieniowych z wykorzystaniem do tego systemu ciągłego monitorowania glikemii w czasie rzeczywistym, ponieważ nadal nie ma jednolitych wytycznych jak powinno wyglądać bezpieczne podejście do wprowadzania diety niskowęglowodanowej w tej grupie chorych. W naszym eksperymencie próbowaliśmy skupić się na wyżej wymienionych problemach.

Po analizie otrzymanych wyników doszliśmy do następujących wniosków. Określając, który pacjent odniósłby największe korzyści z diety z ograniczeniem ilości węglowodanów do 30%, zastosowaliśmy model CART, aby uzyskać binarne wyniki kontroli glikemii (zdefiniowanego jako $CV < 36\%$ i $TIR = 70-180 \text{ mg/dl} > 70\%$). Analiza CART wykazała, że pacjenci spożywający więcej warzyw lub zbóż (>4 porcji dziennie), więcej produktów pszennych (> raz dziennie), mniej tłuszczów (<1,5 razy dziennie) i wybierający soki owocowe za najczęstszą kategorię napojów częściej osiągnęli kontrolę glikemii po wprowadzeniu diety zawierającej 30% węglowodanów. Z drugiej strony, jeśli pacjenci mieli odwrotne nawyki

żywieniowe przejście na dietę zawierającą 30% węglowodanów mogła negatywnie wpłynąć na kontrolę glikemii poposiłkowej. Dieta gdzie węglowodany stanowiły 50% całodiennej podaży energii była bezpieczna dla wszystkich pacjentów w kontekście kontroli glikemii. Z naszych obserwacji wynika, że dobrze zbilansowana dieta z zachowaniem zasad prawidłowego żywienia pomaga klinicytom kontrolować zmienność glikemii u chorych na T1DM i zapobiega występowaniu hipoglikemii. Ta korzystna rola średniej ilości węglowodanów została dobrze wyjaśniona również w innych badaniach [42], [43].

Wykazaliśmy również, że istniały znaczące różnice w CV% i TBR (<70 mg/dl; <3,9 mmol/l) między dwoma analizowanymi planami żywieniowymi, co sugeruje, że istnieje możliwość lepszej kontroli glikemii przy niskim 30% spożyciu węglowodanów. Souza Bosco Paiva C. et al. i Len-nerz S.B. i in. [44], [45] doszli do podobnego wniosku. Ponadto zaobserwowali lepszą kontrolę HbA1c i glikemii u dzieci z T1DM na diecie bardzo niskowęglowodanowej [46]. Z kolei inni autorzy zwracali większą uwagę na rolę indywidualnego podejścia do pacjenta i zapotrzebowania danego organizmu na węglowodany [47], [48].

Dodatkowo nasze badanie wykazało, że mediana, 5. i 25. centyl wartości glikemii są lepsze dla diety, w której węglowodany stanowiły 50% całodiennej podaży energii. Pomimo tego, że różnica nie była istotna statystycznie. Należy zwrócić uwagę, że nasze badania mogą mieć pewną dozę błędu. Nie wzięliśmy pod uwagę różnic w szybkości przemiany materii lub możliwie występujących błędach w oszacowaniu podstawowej przemiany materii (BMR oparto na algorytmie TANITA). Oba czynniki mogły być uwarunkowane sprawnością fizyczną (tj. różnicami w masie mięśniowej lub stosunku mięśni do tkanki tłuszczowej), co nie zostało uwzględnione w protokole zbierania danych. Rolę aktywności w utrzymaniu wyrównania metabolicznego wykazali Myśliwiec A. i wsp. [49]. Jego badania wykazały, że aktywność fizyczna jest kluczowym czynnikiem w kontrolowaniu skoków glikemii u młodych mężczyzn z T1DM. Te same wyniki podkreślano w wielu publikacjach, np. Riddell MC et al. [50], Bally L. i in. [51].

Jednak nie tylko ilość, ale i jakość węglowodanów ma ogromne znaczenie. Zaobserwowaliśmy, że pacjenci, którzy wcześniej spożywali bardzo dużo soków owocowych i napojów gazowanych byli w znacznym stopniu poniżej optymalnego zakresu glikemii (TIR) (odpowiednio $p=0,0401$, $p=0,0183$) oraz 5 centyl wartości glikemii był wyższy w diecie z ograniczeniem ilości węglowodanów do 30 % (odpowiednio $p=0,0209$, $p=0,0401$). To samo zjawisko opisujące tę tendencję zaobserwowali de Bock M i in. [52] oraz Mansoor N i in. [53].

Ponadto nasze badanie podkreśliło znaczenie odpowiednio zbilansowanych posiłków. Zaobserwowaliśmy, że wybór węglowodanów i sposób ich przygotowania jest kluczem do uzyskania lepszej kontroli glikemii. Te same sugestie mieli Reynold A.L. i in. [54], Sterner Isaksson S. i in. [55], Tonja R. Nansel i in. [56]. Zaobserwowali, że odpowiednie spożycie błonnika pokarmowego, produktów o niskim indeksie glikemicznym skutkowało mniejszą skłonnością do wahań glikemii poposiłkowej.

Podsumowując zakładamy, że pacjenci spożywający mniej węglowodanów są lepiej zbilansowani metabolicznie. Tym samym, pomimo ograniczonego czasu obserwacji wprowadzonych diet, nasze badania potwierdziły, że prawidłowe żywienie i indywidualne podejście do diety pacjenta skutkuje lepszą kontrolą metaboliczną. Jednak biorąc pod uwagę, że jest to pierwsze badanie sugerujące, że wzorce żywieniowe mogą wpływać na przystosowanie się do diety niskowęglowodanowej, konieczne są dalsze badania przed opracowaniem ostatecznych zaleceń dotyczących optymalnego programu żywieniowego dla dzieci z cukrzycą typu 1.

Publikacja nr 2 : Reduced Carbohydrate Diet Influence on Postprandial Glycemia- Results of a Short, CGM-Based, Interventional Study in Adolescents with Type 1 Diabetes. Nutrients 2022 Nov 5;14(21):4689.

Terapia cukrzycy typu 1 (T1DM) koncentruje się na utrzymaniu optymalnego poziomu glukozy we krwi, osiąganego dzięki intensywnej insulinoterapii, prawidłowemu odżywianiu i aktywności fizycznej. Wytyczne żywieniowe zalecają spożywanie pokarmów, które zapewniają umiarkowane i przedłużone poposiłkowe odpowiedzi glikemiczne (postprandial glucose regulation, PPGR), aby ograniczyć wahania poziomu glukozy we krwi [57]. Podstawowym postępowaniem klinicznym jest samokontrola glikemii (SMBG) za pomocą glukometru lub z wykorzystaniem CGM w czasie rzeczywistym i oszacowanie zapotrzebowania na insulinę do danego posiłku [58]. Należy pamiętać, że nie tylko indeks glikemiczny czy ładunek glikemiczny posiłku, ale także zawartość białka i tłuszczu może znacząco wpływać na poposiłkowe odpowiedzi glikemiczne (PPGR) [59,60]. Prawidłowa kontrola metaboliczna cukrzycy wymaga oceny odpowiedzi insulinowej i glikemicznej [61]. Uwzględniając powyższe hipotezy chcieliśmy zbadać jak dieta z ograniczeniem ilości węglowodanów do 30 % oraz dieta z prawidłową zawartością węglowodanów na poziomie

50 % wpływa na zmienność glikemii poposiłkowej u dzieci i młodzieży chorujących na cukrzycę typu 1.

W grupie badanej znalazło się 26 uczestników (w tym 14 chłopców) w średnim wieku 16 lat (14-17 lat), ze wskaźnikiem szybkości usuwania glukozy (glucose disposal rate, GDR) na poziomie 6,08 (5,25-7,29) mg/(kg x min), z BMI 80,96 (57,95-89,94) centyl i HbA1c 7,2 (6,8-7,6) % . Wszyscy pacjenci byli leczeni za pomocą osobistej pompy insulinowej firmy Medtronic: Paradigm Veo 754 lub 640G połączonych z Enlite CGM-RT i Guardian Sensor. Kontrola glikemii u tych pacjentów została oceniona za pomocą czasu w zakresie docelowym (TIR), który nie różnił się istotnie w przypadku diety zawierającej 30% i 50% energii z węglowodanów.

Początkowo wykorzystaliśmy dane pochodzące ze wszystkich posiłków z pełnymi zapisami z CGM (N=220), określając tym sposobem trzy główne cechy glikemii poposiłkowej: średnią glikemię poposiłkową, współczynnik zmienności glikemii (CV%) oraz wielkość szczytową glikemii. Wymienione cechy zostały wykorzystane do dalszych porównań pomiędzy dwoma dietami. Po analizie danych pochodzących z posiłków (N=220) wykazano, że dieta zawierająca 50% energii z węglowodanów charakteryzowała się znacząco wyższym współczynnikiem zmienności glikemii (CV%) po posiłku i wielkością szczytową ($p < 0,001$). Śniadania, drugie śniadanie i popołudniowe przekąski miały wyższy współczynnik zmienności glikemii (CV%) w diecie z ograniczeniem ilości węglowodanów do 30 %, podczas gdy śniadania, obiady i kolacje miały wyższą wielkość szczytową w diecie gdzie węglowodany stanowiły 50% całodziennej podaży energii.

Następnie wykorzystaliśmy dane pochodzące ze sparowanych posiłków (N = 126) i dostosowaliśmy je pod kątem efektów specyficznych dla danego pacjenta za pomocą uogólnionego liniowego modelu mieszanego (generalized linear mixed model, GLMM). Efekty specyficzne dla pacjenta można było w wystarczającym stopniu modelować za pomocą stadium dojrzałości płciowej w skali Tannera, wieku, profilu lipidowego i wrażliwości na insulinę. Po dostosowaniu do tych czynników specyficznych dla pacjenta, początkowo zaobserwowane różnice straciły na znaczeniu. Podczas diety gdzie węglowodany stanowiły 30% całodziennej podaży energii popołudniowe przekąski charakteryzowały się wyższą średnią glikemią poposiłkową, podczas gdy kolacje wykazywały istotnie wyższą średnią glikemią poposiłkową w diecie gdzie węglowodany stanowiły 50% całodziennej podaży energii. Za pomocą uogólnionego liniowego modelu mieszanego (GLMM) ustaliliśmy również, że początkowa glikemia i wielkość posiłku były istotnymi czynnikami

wpływającymi na średnią glikemię poposiłkową, niezależnie od czynników specyficznych dla pacjenta ($R=0,54$ i $0,10$, $p<0,001$).

Dodatkowo zwróciliśmy uwagę na to, że zawartość makroskładników może istotnie wpływać na glikemię poposiłkową. Skuteczna modyfikacja spożycia węglowodanów wymaga starannego zbadania raportów pochodzących z CGM, dotychczasowego jadłospisu i danych klinicznych pacjenta. Pomimo jednorodnej populacji badawczej zaobserwowaliśmy, że różnice między pacjentami wpływały na interpretację glikemii poposiłkowej. Na szczęście różnice te można wiarygodnie modelować za pomocą czynników związanych z odpowiedzią na insulinę [62,63]. Zalecamy ocenę stopnia zaawansowania dojrzałości płciowej skali Tannera, profilu lipidowego i szybkości usuwania glukozy w celu uzyskania optymalnej kontroli glikemii podczas interwencji dietetycznej.

Niestety znaczącym ograniczeniem naszego badania było użycie tylko bolusa prostego na zawartość w danym posiłku węglowodanów, który może mieć ograniczoną użyteczność w diecie ze zmniejszoną podażą węglowodanów do 30% całodziennej podaży energii ze względu na zwiększoną zawartość tłuszczów i białek w posiłkach. Pomimo optymalnej insulinoterapii, zwiększona wielkość posiłku oraz zawartość tłuszczu i białka były czynnikami wpływającymi na poposiłkową odpowiedź glikemiczną (PPGR). Posiłki o dużej zawartości tłuszczu i białka mogą powodować opóźnienie poposiłkowego wzrostu glikemii nawet z 3 do 12 godzin [64]. Podejrzewamy, że zaobserwowane (po dostosowaniu do potrzeb pacjenta) podwyższenie średniej glikemii poposiłkowej dla popołudniowych przekąsek w diecie z ograniczeniem ilości węglowodanów do 30% mogło wynikać z większej zawartości tłuszczu i białka w kolacji. Ponadto, ze względu na podwyższoną wyjściową glikemię we krwi przy kolacji w diecie gdzie węglowodany stanowiły 30% całodziennej podaży energii, może dojść do nadmiernej korekty insuliny, skutkującej zbyt niskim średnim poposiłkowym stężeniem glukozy po kolacji.

Podsumowując nasze badania zwróciliśmy uwagę na to, że pomimo iż dieta z ograniczeniem ilości węglowodanów do 30% całodziennej podaży energii zapewnia lepszą glikemię poposiłkową, ze względu na wyższą zawartość białka i tłuszczu w posiłku wymaga ona dodatkowej uwagi ze strony dietetyka, lekarza diabetologa i samego pacjenta.

Publikacja 3 : Assessment of the diet of male adolescents suffering from type 1 diabetes.

Obecnie w grupie osób chorujących na cukrzycę typu 1 znajduje się od 5 – 10 % nastolatków [65]. W tym okresie wpływ rówieśników i ich zachowania żywieniowe pełnią rolę wyznacznika, dostosowania się do trendów oraz nie odstawiania od grupy osób [66]. Niestety bardzo często różnią się one od zasad prawidłowego odżywiania, które według Polskiego Towarzystwa Diabetologicznego powinny być wprowadzone jako element leczenia cukrzycy typu 1 [67]. Zgodnie z przyjętymi normami PTD węglowodany powinny pokrywać 45 – 60 % całodziennego zapotrzebowania energetycznego, a znajdujące się w tym cukry proste nie mogą przekraczać 10 %. W prawidłowo zbilansowanej diecie białko powinno pokrywać 15 – 20 % całodziennego spożycia kalorii, a tłuszcze 25 – 40 % [68].

Celem niniejszej pracy była ocena stanu i sposobu żywienia nastolatków chorujących na cukrzycę typu 1 oraz porównanie ich nawyków żywieniowych do ogólnie przyjętych norm prawidłowego żywienia. Założeniem było, że regularna edukacja żywieniowa pacjentów, znajomość podstawowych zasad prawidłowego żywienia będzie wpływać na ich nawyki żywieniowe. Dodatkowo wnioskowano, że większość pacjentów będzie stosować się do zaleceń żywieniowych celem utrzymania prawidłowego wyrównania metabolicznego i prewencji występowania powikłań.

W grupie badanej znalazło się 20 chłopców chorujących minimum rok na cukrzycę typu 1, których rozpoznano za pomocą kryteriów ISPAD [69], pozostających pod opieką Kliniki Pediatrii, Endokrynologii i Diabetologii Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego. Średni wiek pacjentów wyniósł $14,6 \pm 1,58$ lat. Masa ciała grupy badanej była na poziomie $59,4 \pm 15,0$ kg, a średni wzrost $170,5 \pm 9,2$ cm. Na tej podstawie obliczono indeks masy ciała (BMI), który wyniósł $20,4 \pm 2,7$ kg/m².

W grupie badanej średni czas trwania choroby wyniósł $7,4 \pm 4,3$ lat, a średni czas trwania terapii pompowej $6,8 \pm 4,1$ lat. Średnia wartość HbA_{1c} ukształtowała się na poziomie $7,55 \pm 0,84$ %. U każdego pacjenta oceniono stan odżywienia za pomocą metod antropometrycznych (wzrost, masa ciała). Na podstawie uzyskanych wyników obliczono wskaźnik masy ciała (BMI) za pomocą następującego wzoru: stosunek masy ciała (kg) do wzrostu podanego do kwadratu (m²) [70]. Dodatkowo wykorzystano wskaźnik talia – biodro (waist - hip ratio, WHR), którego wzór to stosunek obwodu talii do obwodu bioder [71]. Jego interpretacja wskazuje na rozmieszczenie tkanki tłuszczowej w organizmie [72]. Kolejno dokonano analizy składu ciała z wykorzystaniem urządzenia InBody 770.

Podczas trwania badania u każdego uczestnika przeprowadzono dokładny wywiad żywieniowy oraz zalecono sporządzenie 7 dniowego dzienniczka żywieniowego. Na podstawie otrzymanych informacji oceniono sposób żywienia pacjentów chorujących na cukrzycę typu 1. Dodatkowo dokonano analizy żywieniowej na podstawie testu wg. Starzyńskiej [73].

Na podstawie analizy składu ciała przeprowadzonej z wykorzystaniem urządzenia InBody 770 uzyskano następujące wyniki. Średnia zawartość tkanki tłuszczowej wyniosła $14,72 \pm 6,25$ %, co w przeliczeniu na kilogramy stanowi $8,71 \pm 4,10$ kg. Istotnie statystycznie jest to, że 60 % badanych miało prawidłową zawartość tkanki tłuszczowej w organizmie pomimo braku regularnej aktywności fizycznej. Średnia zawartość mięśni szkieletowych w badanej grupie wyniosła $28,2 \pm 6,93$ kg, co u połowy nastolatków świadczyło o jej prawidłowej zawartości w organizmie. Dodatkowym parametrem uzyskanym za pomocą tej metody była całkowita zawartość wody w organizmie, której średnia w badanej grupie wyniosła $38,05 \pm 8,42$ L. Istotnie statystycznie jest to, że ponad połowa badanych była prawidłowo nawodniona, gdyż parametr ten koreluje z zawartością mięśni szkieletowych w organizmie. Dzięki uzyskanym wynikom obliczono wskaźnik WHR, którego średnia wartość w badanej grupie wyniosła $0,796 \pm 0,034$, co nie wskazuje na występowanie otyłości brzusznej w grupie badanych nastolatków.

Na podstawie analizy sposobu żywienia pacjentów zapotrzebowanie energetyczne pokryte jest przez trzy czwarte grupy badanej. Zgodnie z przyjętymi normami na makroskładniki niecałe 45 % nastolatków pokrywa zalecaną dzienną ilość węglowodanów. Istotnie statystycznie jest bardzo duże spożycie cukrów prostych, gdyż prawie wszyscy badani (95%, $n = 19$) spożywali ponad przyjęte zalecenia. Dodatkowo 45 % badanych nie pokryło dziennego zapotrzebowania na błonnik pokarmowy. Z drugiej strony spożycie pozostałych makroskładników w tym białka i tłuszczu również nie jest zadowalająca.

Do oceny sposobu żywienia i interpretacji otrzymanych jadłospisów wykorzystano test wg. Starzyńskiej. Za jego pomocą stwierdzono, że u 60 % badanych występują błędy żywieniowe, które po odpowiedniej korekcie mogą być wyeliminowane.

Podsumowując pomimo częstych edukacji żywieniowych o korzystnym wpływie prawidłowego odżywiania na kontrolę glikemii i prewencji powikłań cukrzycowych nawyki żywieniowe nastolatków odbiegają od zasad prawidłowego żywienia. Ponadto obserwuje się,

że błędnie zbilansowany jadłospis, długie przerwy między posiłkami i brak regularnej aktywności fizycznej wpływają niekorzystnie na wyrównanie metaboliczne pacjentów.

Podsumowanie

Przed popularyzacją u dzieci i młodzieży osobistych pomp insulinowych wraz z systemem ciągłego monitorowania glikemii mało zwracano uwagę na jakość i ilość węglowodanów oraz związanych z tym prawidłowych nawyków żywieniowych. Obecnie na podstawie danych uzyskanych z CGM możemy zobaczyć jak dany posiłek, jego objętość oraz dobór odpowiednich produktów spożywczych wpływa na glikemię poposiłkową. W zaleceniach każdego środowiska diabetologicznego podkreśla się, obok insulinoterapii, wysiłku fizycznego rolę prawidłowego odżywiania jako element leczenia cukrzycy typu 1.

Jednak mimo popularyzacji osobistych pomp insulinowych wraz ciągłym monitorowaniem glikemii nadal wprowadzanie zdrowych nawyków żywieniowych stanowi problem w populacji pacjentów pediatrycznych. Zmiana dotychczasowych nawyków żywieniowych stanowi problem jeżeli wcześniej pacjenci spożywali dużą ilość cukrów prostych, z małym spożyciem warzyw, owoców czy produktów pełnoziarnistych.

Bardzo istotną kwestią jest wprowadzenie jednolitych wytycznych co do ilości spożywanych węglowodanów oraz podkreślenie konsekwencji w zbyt małym ich spożyciu na rozwój dziecka lub utrzymaniu prawidłowej glikemii poposiłkowej. Optymalizacja dawek insuliny, odpowiednia podaż makroskładników oraz wprowadzenie regularnej aktywności fizycznej wpływa znacząco na unikanie wahań glikemii, zwiększenie wskaźnika TIR oraz zmniejszenie zmienności glikemii.

W obecnie dostępnych publikacjach nie ma jednolitego stanowiska czy warto wprowadzić lub unikać wprowadzania diet z ograniczeniem ilości węglowodanów. Dlatego w naszych pracach chcieliśmy udowodnić czy wprowadzenie różnych interwencji dietetycznych z modyfikacją makroskładników ma wpływ na lepsze wyrównanie metaboliczne u dzieci i młodzieży z cukrzycą typu 1.

Publikacje wchodzące w skład niniejszej dysertacji doktorskiej, oparte były na badaniu, które polegało na wprowadzeniu diety z ograniczeniem ilości węglowodanów do 30 % całodiennej podaży energii oraz diety normowęglowodanowej na poziomie 50 % podaży kalorii.

Celem pierwszej publikacji było określenie wpływu nawyków żywieniowych na kontrolę glikemii podczas wprowadzania dwóch interwencji dietetycznych: z ograniczeniem ilości

węglowodanów do 30 % całodziejnej podaży energii oraz z optymalną ilością węglowodanów na poziomie 50% całodziejnej podaży energii z wykorzystaniem systemu ciągłego monitorowania glikemii. Celem drugiej pracy było zbadanie jak dieta z ograniczeniem ilości węglowodanów do 30 % oraz dieta z prawidłową zawartością węglowodanów na poziomie 50 % wpływa na zmienność glikemii poposiłkowej u dzieci i młodzieży chorujących na cukrzycę typu 1. Ostatnia praca miała na celu pokazanie stanu i sposobu żywienia nastolatków chorujących na cukrzycę typu 1 oraz porównanie ich nawyków żywieniowych do ogólnie przyjętych norm prawidłowego żywienia.

Wartością dodaną w powyższych badaniach było wykorzystanie ciągłego monitorowania glikemii do oceny zmienności glikemii poposiłkowej oraz parametrów takich jak: czas w zakresie docelowym (TIR) czy wskaźnik zmienności glikemii (CV).

Pierwsza praca miała udowodnić czy pacjenci chorujący na cukrzycę typu 1 spożywający mniej węglowodanów są lepiej zbilansowani metabolicznie. Tym samym, pomimo ograniczonego czasu obserwacji wprowadzonych diet, nasze badania potwierdziły, że prawidłowe żywienie i indywidualne podejście do diety pacjenta skutkuje lepszą kontrolą metaboliczną. Jednak biorąc pod uwagę, że jest to pierwsze badanie sugerujące, że wzorce żywieniowe mogą wpływać na przystosowanie się do diety niskowęglowodanowej, konieczne są dalsze badania przed opracowaniem ostatecznych zaleceń dotyczących optymalnego programu żywieniowego dla dzieci z cukrzycą typu 1.

W drugiej publikacji zwróciliśmy uwagę na to, że pomimo iż dieta z ograniczeniem ilości węglowodanów do 30% całodziejnej podaży energii zapewnia lepszą glikemię poposiłkową, ze względu na wyższą zawartość białka i tłuszczu w posiłku wymaga ona dodatkowej uwagi ze strony dietetyka, lekarza diabetologa i samego pacjenta. Niestety znaczącym ograniczeniem naszego badania było użycie tylko bolusa prostego na zawartość w danym posiłku węglowodanów, który może mieć ograniczoną użyteczność w diecie ze zmniejszoną podażą węglowodanów do 30% całodziejnej podaży energii ze względu na zwiększoną zawartość tłuszczów i białek w posiłkach. Pomimo optymalnej insulinoterapii, zwiększona wielkość posiłku oraz zawartość tłuszczu i białka były czynnikami wpływającymi na poposiłkową odpowiedź glikemiczną (PPGR).

W ostatniej pracy chcieliśmy pokazać, że pomimo przeprowadzania edukacji żywieniowych o korzystnym wpływie prawidłowego odżywiania na kontrolę glikemii i prewencji powikłań metabolicznych u pacjentów z cukrzycą typu 1, nawyki żywieniowe nastolatków odbiegają od ogólnie przyjętych norm prawidłowego żywienia. Ponadto obserwuje się, że błędnie

zbilansowany jadłospis, długie przerwy między posiłkami i brak regularnej aktywności fizycznej wpływają niekorzystnie na wyrównanie metaboliczne pacjentów.

We wszystkich zamieszczonych publikacjach zwrócono uwagę na korzyści związane z indywidualnym podejściem do diety uzależnionym od wcześniejszych nawyków żywieniowych. Po naszych badaniach możemy stwierdzić iż prawidłowe odżywianie wraz z optymalnymi dawkami insuliny oraz aktywnością fizyczną stanowi element terapeutyczny u pacjentów z cukrzycą typu 1.

Bibliografia

1. Zalecenia kliniczne dotyczące postępowania u chorych na cukrzycę 2022 Stanowisko Polskiego Towarzystwa Diabetologicznego. *Curr Top Diabetes*, 2022; 2 (1): 1–134
2. Pathak V., Madhur Pathak N., Reinhold J Medina. Therapies for Type 1 Diabetes: Current Scenario and Future Perspectives. *Clin Med Insights Endocrinol Diabetes*. 2019; 12: 1179551419844521.
3. Szalecki, M. et al. (2018) ‘Epidemiology of type 1 diabetes in Polish children: A multicentre cohort study’, *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 34(2), p. e2962. doi: 10.1002/DMRR.2962.
4. Grabia M., Markiewicz – Żukowska R., Socha K. Prevalence of Metabolic Syndrome in Children and Adolescents with Type 1 Diabetes Mellitus and Possibilities of Prevention and Treatment: A Systematic Review. *Nutrients* 2021, 13, 1782.
5. Araszkiwicz, A. et al. (2021) ‘2021 Guidelines on the management of patients with diabetes. A position of Diabetes Poland’, *Clinical Diabetology*, 10(1), pp. 1–113. doi: 10.5603/dk.2021.0001.
6. Jiménez-Sahagún A., Gómez Hoyos E., Díaz Soto G. et al. Impact of flash glucose monitoring on quality of life and glycaemic control parameters in adults with type 1 diabetes mellitus. *Endocrinol Diabetes Nutr (Engl Ed)*. 2022 May;69(5):345-353.
7. Pratley R. E., MD, Kanapka L.G., Rickels M. R., Effect of Continuous Glucose Monitoring on Hypoglycemia in Older Adults With Type 1 Diabetes. *JAMA*. 2020 Jun 16; 323(23): 2397–2406.
8. Karter A., Parker M., Moffet H., Gilliam L., Dlott R. Association of Real-time Continuous Glucose Monitoring With Glycemic Control and Acute Metabolic Events

- Among Patients With Insulin-Treated Diabetes. *JAMA* 2021 Jun 8;325(22):2273-2284. doi: 10.1001/jama.2021.6530.
9. Battelino T, Danne T, Bergenstal RM, Amiel SA, Beck R, Biester T, et al.. Clinical Targets for Continuous Glucose Monitoring Data Interpretation: Recommendations From the International Consensus on Time in Range. *Diabetes Care* (2019) 42(8):1593–603. doi: 10.2337/dci19-0028
 10. Galindo RJ, Migdal AL, Davis GM, Urrutia MA, Albury B, Zambrano C, et al.. Comparison of the FreeStyle Libre Pro Flash Continuous Glucose Monitoring (CGM) System and Point-of-Care Capillary Glucose Testing in Hospitalized Patients With Type 2 Diabetes Treated With Basal-Bolus Insulin Regimen. *Diabetes Care* (2020) 43(11):2730–5. doi: 10.2337/dc19-2073
 11. Danne, T. et al. (2017) ‘International Consensus on Use of Continuous Glucose Monitoring’, *Diabetes Care*, 40(12), pp. 1631 LP – 1640. doi: 10.2337/dc17-1600.
 12. Pühr S., Derdzinski M., Welsh J.B., Parker A.S., Walker T., Price D.A. Real-World Hypoglycemia Avoidance with a Continuous Glucose Monitoring System’s Predictive Low Glucose Alert. *Diabetes Technol. Ther.* 2019;21:155–158.
 13. Zalecenia kliniczne dotyczące postępowania u chorych na cukrzycę 2022 Stanowisko Polskiego Towarzystwa Diabetologicznego. *Curr Top Diabetes*, 2022; 2 (1): 1–134
 14. Evert AB, Dennison M, Gardner CD, et al. Nutrition therapy for adults with diabetes or prediabetes: a consensus report. *Diabetes Care* 2019; 42:731–754.
 15. Vega-López S, Bernard J., Joanne L. Slavin Relevance of the Glycemic Index and Glycemic Load for Body Weight, Diabetes, and Cardiovascular Disease Nutrients. 2018 Oct; 10(10): 1361.
 16. Lockyer S., Nugets A.P. Health effects of resistant starch 2017 *British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin*,42,10–41
 17. Towhid Hasan et.al. Effect of Glycemic Index and Glycemic Load on Type 2 Diabetes Mellitus *International Journal of Health Sciences & Research* (www.ijhsr.org) 260 Vol.9; Issue: 2; February 2019
 18. . Fu S, Li L, Deng S, Zan L, Liu Z. Effectiveness of advanced carbohydrate counting in type 1 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep* 2016; 14; 6: 37067.
 19. Fleming GA, Petrie JR, Bergenstal RM, et al. Diabetes digital app technology: benefits, challenges, and recommendations. A consensus report by the European

- Association for the Study of Diabetes (EASD) and the American Diabetes Association (ADA) Diabetes Technology Working Group. *Diabetologia* 2020; 63: 229–241
20. American Diabetes Association. Standards of care. *Diabetes Care*, 2017; 40 (supl. 1): 1-135.
 21. Mirosław Jarosz Normy żywienia dla populacji Polski IŻŻ 2017
 22. Gregory J. W., Cameron F.J., Joshi K. ISPAD Clinical Practice Consensus Guidelines 2022: Diabetes in adolescence. *Pediatr Diabetes*. 2022 Nov;23(7):857-871. doi: 10.1111/pedi.13408.
 23. Patton S R Adherence to diet in youth with type 1 diabetes. *J Am Diet Assoc* . 2011 Apr;111(4):550-5.
 24. Nansel T R, Lipsky L M, Liu A Greater diet quality is associated with more optimal glycemic control in a longitudinal study of youth with type 1 diabetes^{1,2}. *Am J Clin Nutr* 2016;104:81–7.
 25. Meissner T, Wolf J, Kersting M, Frohlich-Reiterer E, Flechtner-Mors M, Salgin B, Stahl-Pehe A, Holl RW. Carbohydrate intake in relation to BMI, HbA1c and lipid profile in children and adolescents with type 1 diabetes. *Clin Nutr* 2014;33(1):75–8
 26. Krebs J.D. , Parry Strong A., Cresswell P., Reynolds A.N., Hanna A., Haeusler S. A randomised trial of the feasibility of a low carbohydrate diet vs standard carbohydrate counting in adults with type 1 diabetes taking body weight into account. *Asia Pac J Clin Nutr*. 2016;25(1):78-84.
 27. Seckold R , Fisher E, de Bock M, King B R, Smart C E The ups and downs of low-carbohydrate diets in the management of Type 1 diabetes: a review of clinical outcomes. *Diabet Med*. 2019 Mar;36(3):326-334.
 28. Reducing childhood obesity in Poland by effective policies. World Health Organization 2017.
 29. Szczyrska J., Jankowska A., Brzeziński M. et al. Prevalence of Overweight and Obesity in 6–7-Year-Old Children—A Result of 9-Year Analysis of Big City Population in Poland. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17(10), 3480.
 30. Bandurska E., Brzeziński M., Metelska P. et al. Cost-Effectiveness of an Obesity Management Program for 6- to 15-Year-Old Children in Poland: Data from Over Three Thousand Participants. *Obes Facts*. 2020 Oct; 13(5): 487–498.
 31. Głąbska D., Skolmowska D., Guzek D. Population-Based Study of the Changes in the Food Choice Determinants of Secondary School Students: Polish Adolescents' COVID-19 Experience (PLACE-19) Study. *Nutrients*. 2020 Sep; 12(9): 2640.

32. Łuszczki E., Bartosiewicz A., Pezdan-Śliż I. et al. Children's Eating Habits, Physical Activity, Sleep, and Media Usage before and during COVID-19 Pandemic in Poland. *Nutrients*. 2021 Jul; 13(7): 2447.
33. Mirosław Jarosz Normy żywienia dla populacji Polski IŻŻ 2017
34. Craig ME, Hattersley A, Donaghue KC. Definition, epidemiology and classification of diabetes in children and adolescents. *Pediatr Diabetes*. 2009 Sep;10 Suppl 12:3-12. doi: 10.1111/j.1399-5448.2009.00568.x. PMID: 19754613.
35. Niedzwiedzka E., Wadolowska L. Accuracy analysis of the food intake variety questionnaire (FIVEQ). reproducibility assessment among older people. *Pakistan J. Nutr*. 2008;7:426–435.
36. Aliant diet calculator. Available online: www.aliant.com.pl (accessed on 11.10.2021).
37. Runge C., Lee J. M. How Low Can You Go? Does Lower Carb Translate to Lower Glucose? *Pediatrics* 2018; 141 (6) e20180957. doi: 10.1542/PEDS.2018-0957.
38. Gallagher K., DeSalvo D., Gregory J., Hilliard M. Medical and Psychological Considerations for Carbohydrate-Restricted Diets in Youth With Type 1 Diabetes. *Curr Diab Rep*. 2019 Apr 27;19(6):27. doi: 10.1007/s11892-019-1153-2.
39. Ahola, A.J.; Forsblom, C.; Harjutsalo, V.; Groop, P.H.; FinnDiane Study, G. Dietary carbohydrate intake and cardio-metabolic risk factors in type 1 diabetes. *Diabetes Res. Clin. Pract*. 2019, 155, 107818.
40. Schmidt, S.; Christensen, M.B.; Serifovski, N.; Damm-Frydenberg, C.; Jensen, J.B.; Floyel, T.; Storling, J.; Ranjan, A.; Norgaard, K. Low versus high carbohydrate diet in type 1 diabetes: A 12-week randomized open-label crossover study. *Diabetes Obes. Metab*. 2019, 21, 1680–1688.
41. Meissner T, Wolf J, Kersting M, Frohlich-Reiterer E, Flechtner-MorsM, Salgin B, Stahl-Pehe A, Holl RW. Carbohydrate intake in relation toBMI, HbA1c and lipid profile in children and adolescents with type 1diabetes. *Clin Nutr* 2014;33(1):75–8
42. Bell K.J., Smart C.E., Steil G.M., Brand-Miller J.C., King B., Wolpert H.A. Impact of fat, protein, and glycemic index on postprandial glucose control in type 1 diabetes: Implications for intensive diabetes management in the continuous glucose monitoring era. *Diabetes Care*. 2015;38:1008–1015. doi: 10.2337/dc15-0100
43. Adolfsson P., Riddell M.C., Taplin C.E., Davis E.A., Fournier P.A., Annan F., Scaramuzza A.E., Hasnani D., Hofer S.E. ISPAD Clinical Practice Consensus Guidelines 2018: Exercise in children and adolescents with diabetes. *Pediatr. Diabetes*. 2018;19(Suppl. 27):205–226. doi: 10.1111/pedi.12755.

44. de Souza Bosco Paiva C, Maria Helena Melo Lima. Introducing a very low carbohydrate diet for a child with type 1 diabetes. *Br J Nurs.* 2019 Aug 8;28(15):1015-1019.
45. Belinda S. Lennerz, MD, PhD, Anna Barton, MD, [...], and David S. Ludwig, MD, PhD Management of Type 1 Diabetes With a Very Low–Carbohydrate Diet. *Pediatrics.* 2018 Jun;141(6):e20173349.
46. Jarosz M., Rychlik E., Stoś K., Charzewska J. Nutrition standards for the population of Poland and their application. *PZH* 2020.
47. Sam N. Scott, Lorraine Anderson, [...], and Michael C. Riddell Carbohydrate Restriction in Type 1 Diabetes: A Realistic Therapy for Improved Glycaemic Control and Athletic Performance? *Nutrients* 2019, 11(5):1022
48. Riddell M.C., Gallen I.W., Smart C.E., Taplin C.E., Adolfsson P., Lumb A.N., Kowalski A., Rabasa-Lhoret R., McCrimmon R.J., Hume C., et al. Exercise management in type 1 diabetes: A consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2017;5:377–390. doi: 10.1016/S2213-8587(17)30014-1.
49. Myśliwiec A., Skalska M., Michalak A. et al. Responses to Low- and High-Intensity Exercise in Adolescents with Type 1 Diabetes in Relation to Their Level of VO₂ Max. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18(2), 692.
50. Riddell MC, Gallen IW, Smart CE, Taplin CE, Adolfsson P, Lumb AN, et al. . Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diab Endocrinol.* (2017) 5:377-390
51. Bally L, Zueger T, Buehler T, Dokumaci AS, Speck C, Pasi N, et al. . Metabolic and hormonal response to intermittent high-intensity and continuous moderate intensity exercise in individuals with type 1 diabetes: a randomised crossover study. *Diabetologia.* (2016) 59:776–84.
52. de Bock M, Lobley K, Anderson D, et al. . Endocrine and metabolic consequences due to restrictive carbohydrate diets in children with type 1 diabetes: an illustrative case series. *Pediatr Diabetes.* 2018;19(1):129–13
53. Mansoor N, Vinknes KJ, Veierød MB, Retterstøl K. Effects of low-carbohydrate diets v. low-fat diets on body weight and cardiovascular risk factors: a meta-analysis of randomised controlled trials. *Br J Nutr.* 2016;115(3):466–479
54. Andrew N Reynolds , Ashley P Akerman, Jim Mann Dietary fibre and whole grains in diabetes management: Systematic review and meta-analyses. *PLoS Med.* 2020 Mar 6;17(3):e1003053.

55. Isaksson S S, Bensow Bacos M, Eliasson B et al, Effects of nutrition education using a food-based approach, carbohydrate counting or routine care in type 1 diabetes: 12 months prospective randomized trial. *BMJ Open Diabetes Res Car.* 2021 Mar;9(1):e001971.
56. Tonja R Nansel, Leah M Lipsky, and Aiyi Liu Greater diet quality is associated with more optimal glycemic control in a longitudinal study of youth with type 1 diabetes. *Am J Clin Nutr.* 2016 Jul;104(1):81-7.
57. Rozendaal YJ, Maas AH, van Pul C, et al. Model-based analysis of postprandial glycemic response dynamics for different types of food. *Clin Nutr Exp.* 2018;19:32-45. doi:10.1016/J.YCLNEX.2018.01.003
58. Johansen MD, Gjerløv I, Christiansen JS, Hejlesen OK. Interindividual and Intraindividual Variations in Postprandial Glycemia Peak Time Complicate Precise Recommendations for Self-Monitoring of Glucose in Persons with Type 1 Diabetes Mellitus. *J Diabetes Sci Technol.* 2012;6(2):356. doi:10.1177/193229681200600221
59. Bell KJ, Fio CZ, Twigg S, et al. Amount and Type of Dietary Fat, Postprandial Glycemia, and Insulin Requirements in Type 1 Diabetes: A Randomized Within-Subject Trial. *Diabetes Care.* 2020;43(1):59-66. doi:10.2337/DC19-0687
60. Rydin AA, Spiegel G, Frohnert BI, et al. Medical management of children with type 1 diabetes on low-carbohydrate or ketogenic diets. *Pediatr Diabetes.* 2021;22(3):448-454. doi:10.1111/PEDI.13179
61. Yari Z, Behrouz V, Zand H, Pourvali K. New Insight into Diabetes Management: From Glycemic Index to Dietary Insulin Index. *Curr Diabetes Rev.* 2019;16(4):293-300. doi:10.2174/1573399815666190614122626
62. Wolosowicz M, Lukaszuk B, Chabowski A. The Causes of Insulin Resistance in Type 1 Diabetes Mellitus: Is There a Place for Quaternary Prevention? *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(22):1-13. doi:10.3390/IJERPH17228651
63. Oviedo S, Contreras I, Bertachi A, et al. Minimizing postprandial hypoglycemia in Type 1 diabetes patients using multiple insulin injections and capillary blood glucose self-monitoring with machine learning techniques. *Comput Methods Programs Biomed.* 2019;178:175-180. doi:10.1016/J.CMPB.2019.06.025
64. Furthner D, Lukas A, Schneider AM, et al. The Role of Protein and Fat Intake on Insulin Therapy in Glycaemic Control of Paediatric Type 1 Diabetes: A Systematic Review and Research Gaps. *Nutrients.* 2021;13(10). doi:10.3390/NU13103558

65. Sandhya Rani K, Kumar Bhadada S: Medical Nutrition Therapy in Type 1 Diabetes Mellitus. *Indian J Endocrinol Metab.* 2017 Sep-Oct; 21(5): 649–651.
66. Pringle J, Doi L, Jindal-Snape D et al. Adolescents and health-related behaviour: using a framework to develop interventions to support positive behaviours. *Pilot Feasibility Stud.* 2018; 4: 69.
67. Zalecenia kliniczne dotyczące postępowania u chorych na cukrzycę 2019. Stanowisko Polskiego Towarzystwa Diabetologicznego. *Diabetol Prakt* 2019; 4: 1-94.
68. Jarosz M, Rychlik E, Stoś K, et al. Normy żywienia dla populacji Polski. Wyd. Instytut Żywności i Żywienia, Warszawa 2017.
69. Craig, M.E.; Hattersley, A.; Donaghue, K.C. Definition, epidemiology and classification of diabetes in children and adolescents. *Pediatr. Diabetes* 2009, 10, 3–12.
70. Sandberg J, Björck I, Nilsson A. Effects of whole grain rye, with and without resistant starch type 2 supplementation, on glucose tolerance, gut hormones, inflammation and appetite regulation in an 11-14.5 hour perspective; a randomized controlled study in healthy subjects. *Nutr J.* 2017 Apr 21;16(1):25.
71. Gonzalez MC, Correia MITD, Heymsfield SB A requiem for BMI in the clinical setting. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2017 Sep;20(5):314-321
72. Aparecida Vieira S, Queiroz Ribeiro A, Feliciano Pereira P et al. Waist – to – height ratio index or the prediction of overweight in children. *Rev Paul Pediatr.* 2018 Jan-Mar; 36(1): 52–58.
73. Moore LM, Fals AM, Jennelle PJ et al. Analysis of Pediatric Waist to Hip Ratio Relationship to Metabolic Syndrome Markers. *J Pediatr Health Care.* 2015 Jul-Aug;29(4):319-24.

2. Artykuły naukowe wchodzące w skład spójnego tematycznie cyklu artykułów naukowych pt. *Wpływ zmian nawyków żywieniowych na poziom wyrównania metabolicznego cukrzycy typu 1 u dzieci i młodzieży.*

**2.1. A. Lejk, J. Chrzanowski, A. Cieślak ,
W. Fendler, M. Myśliwiec.**


***Effect of Nutritional Habits on the Glycemic Response to
Different Carbohydrate Diet in Children with Type 1 Diabetes
Mellitus. Nutrients 2021 Oct 27;13(11):3815.***

DOI: 10.3390/nu13113815.

Wskaźnik Impact Factor ISI: 6.706, Punktacja MNiSW: 140

Article

Effect of Nutritional Habits on the Glycemic Response to Different Carbohydrate Diet in Children with Type 1 Diabetes Mellitus

Agnieszka Lejk ^{1,*}, Jędrzej Chrzanowski ² , Adrianna Cieślak ², Wojciech Fendler ² and Małgorzata Mysliwiec ^{1,*}

¹ Department of Paediatrics, Diabetology and Endocrinology, Medical University of Gdańsk, 80-210 Gdańsk, Poland

² Department of Biostatistics and Translational Medicine, Medical University of Lodz, 92-215 Lodz, Poland; jj.chrzanowski1@gmail.com (J.C.); adrianna.m.cieslak@gmail.com (A.C.); wojciech.fendler@umed.lodz.pl (W.F.)

* Correspondence: agnieszka.lejk@op.pl (A.L.); mysliwiec@gumed.edu.pl (M.M.)



Citation: Lejk, A.; Chrzanowski, J.; Cieślak, A.; Fendler, W.; Mysliwiec, M. Effect of Nutritional Habits on the Glycemic Response to Different Carbohydrate Diet in Children with Type 1 Diabetes Mellitus. *Nutrients* **2021**, *13*, 3815. <https://doi.org/10.3390/nu13113815>

Academic Editors: Gun Forsander and Andriani Vazeou

Received: 26 August 2021

Accepted: 23 October 2021

Published: 27 October 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Unhealthy eating habits are associated with obesity, metabolic syndrome, and increased insulin resistance in young patients with type 1 diabetes mellitus (T1DM), and may impact the possible benefit from dietary interventions on glycaemic control. This study determines how nutritional patterns influence the quality of dietary intervention with a 30% or 50% carbohydrate diet in terms of glycaemic control measured with continuous glucose monitoring (CGM). Eating habits were obtained with a frequency-of-consumption questionnaire (FFQ-6) before the diet assessment. Altogether, we collected CGM and FFQ-6 data from 30 children (16 boys and 14 girls aged 10–17 years) with T1DM subjected to two consecutive 3-day nutritional plans. From these, 23 patients met the CGM data quality criteria for further analysis. Furthermore, high accuracy achieved in training (95.65%) and V-fold cross-validation (81.67%) suggest a significant impact of food habits in response to introduced nutritional changes. Patients who consumed more vegetables or grains (>4 times per day), more wheat products (>once per day), fewer fats (<1.5 times per day), and ranked fruit juice as the most common selection in the drinks category achieved glycaemic control more often after the introduction of a 30% carbohydrate diet, as opposed to those with different dietary patterns, whose glycaemic control was negatively impacted after switching to this diet. Additionally, the 50% carbohydrate diet was safe for all patients in the context of glycaemic control.

Keywords: paediatric diabetes; carbohydrates; individualized nutritional guideline

1. Introduction

Diabetes mellitus type 1 (T1DM) is an autoimmune disease in which pancreatic beta cell destruction leads to an absolute insulin deficiency, resulting in dysregulation of glycaemic control [1]. If left poorly controlled, it may cause life-threatening events, such as diabetic ketoacidosis and nonketotic hyperosmolar coma, with long-term complications including heart disease, neuropathy, nephropathy, retinopathy, or even death [2]. T1DM is one of most common noninfectious chronic diseases among Polish children [3]. In the last five years, the incidence of T1DM has increased 1.5-fold in the population under 18 years old in Poland [4].

Currently, there are no effective or clinically useful methods that could prevent T1DM, both in the general population and in subjects at risk. The only treatment is insulin replacement therapy with either multiple daily injections (MDI) or continuous subcutaneous insulin infusion (CSII) using a personal insulin pump [5]. According to Diabetes Poland, children and adolescents with T1DM should be treated with intensive insulin therapy, and use continuous glucose monitoring (CGM) systems from the onset of the disease to improve the metabolic control of diabetes, and decrease the risk of acute and chronic complications [6].

In addition to insulin therapy, proper nutrition and exercise play a significant role in diabetes treatment [7]. Dietary recommendations are similar to the principles of proper nutrition for healthy children. Nevertheless, Patton's studies [8] examined macronutrients and dietary recommendations in children with T1DM, which revealed higher than the recommended intakes of fat, and lower than the recommended intakes of fruits, vegetables, and whole grains. Nansel et al. [9], and Meissner et al. [10] reached similar conclusions.

According to the Clinical Recommendations of Diabetes Poland 2021, carbohydrates should cover 45–50% of the daily energy requirement, and the simple sugars contained in them should not exceed 10%. Proteins should cover 15–20% of daily caloric intake, and fats should cover 30–35% [11]. Numerous recent studies have emphasised the role of a properly balanced diet with a slight reduction in carbohydrate intake, especially simple sugars, as a part of the treatment of T1DM. Krebs et al. [12], and Seckold et al. [13] suggested that reducing carbohydrates in the diet may benefit glycaemic control.

Nutritional challenges in the Polish paediatric population have not changed much since the COVID-19 pandemic. Inappropriate food habits, which include the consumption of fruit juices, carbonated beverages, diet sodas, fast food, snacks, and sweets, still remain a major problem. Moreover, a sedentary lifestyle during the pandemic has predominated over physical activity and has led to obesity among Polish girls and boys (14% and almost 20%, respectively) [14]. One of the studies conducted between 2008 and 2016 in the municipality of Gdańsk showed that the prevalence of overweight and obesity among 6- to 7-year-old children was 7.49 and 4.24%, respectively [15]. There is a lack of educational and interventional programmes in Poland concerning the prevalence of excess body weight and its consequences in children. One of few such intervention programmes is "6-10-14 for Health" for obese children from the Gdańsk municipality, where both participants and their family members are offered a 12-month integrated intervention, including medical, dietetic, and psychological counselling, and educational workshops for parents [16].

Some studies conducted during the pandemic showed quite a different perspective. Głabska et al. concluded that the COVID-19 era may have changed the determinants of food choices in Polish adolescents, as it may have increased the importance of health and weight control [17]. Łuszczki et al. had a similar opinion and even emphasised that dietary patterns are better now than they were before the pandemic [18]. Although these studies give hope for improving the overall nutritional approach among Polish children, the problem of inappropriate eating patterns is still very common.

This study determines how nutritional habits influence glycaemic control during the dietary intervention introduction of a 30% or 50% carbohydrate diet with maintained total caloric intake, using the continuous glucose monitoring system.

2. Materials and Methods

2.1. Participants, Recruitment, and Study Design

We recruited paediatric patients, median age 16 (13–17 years), with diagnosed T1DM according to the criteria of International Society for Pediatric and Adolescent Diabetes (ISPAD) guidelines [19] with diabetes duration of at least one year and HbA1c level $\leq 9.0\%$ (75 mmol/mol), remaining under the care of the Clinic of Paediatrics, Diabetology, and Endocrinology at the Medical University of Gdańsk, Poland.

Exclusion criteria for participation in the study were concomitant chronic diseases associated with hypoglycaemia or special dietary requirements (e.g., hypothyroidism, liver, renal disorders, and coeliac disease).

Two consecutive 3-day nutritional plans were created for each patient, with carbohydrates covering 30% or 50% of the daily energy requirement. Diets were composed and evaluated using diet programme Aliant, and scored using the menu score. Each patient participated in both nutritional interventions, one after another (cross-over and cross-sectional design), with no wash-out period in between.

The Aliant programme is a professional diet calculator for dieticians and nutrition specialists who plan and evaluate individual nutrition. The manufacturer created their own

product database (3700 items: products and ready meals), which is constantly expanding, and introduced meal units in the form of patient-friendly home measures; currently, there are 3200 of them for over 1900 products. The diet can be implemented for up to 30 days with a maximum of 10 meals a day, with the possibility of setting a different number of meals each day [20].

Both diets were created in accordance with the nutritional standards for Polish children, taking into account the patient's gender, age, and physical activity [21]. In planning the diets, attention was paid to the principles of a diet with a low glycaemic index. Each patient would eat a 30% carbohydrate diet during the 3-day hospitalisation and a 50% carbohydrate diet at home.

Patients were carefully monitored during the dietary interventions by a dietitian, diabetologist, nurse, and the principal investigator. Subjects were required to strictly follow the nutrition plan and avoid any additional food consumption. During the experiment, their blood glucose was measured using the continuous glucose monitoring (CGM) system and the self-monitoring of blood glucose (SMBG). The CGM measured real-time interstitial glucose concentration and was not blinded, so the diabetologist and the patients had continuous access to glucose concentrations. The diabetologist and dietician calculated the daily insulin intake (insulin base and boluses) for each patient to provide optimal glycaemic control. Adverse events, defined as severe hypoglycaemia, diabetic ketoacidosis, or allergic reactions, were registered for all patients during and 48 h before and after the dietary intervention. Detailed scheme of the study is presented in Figure 1.

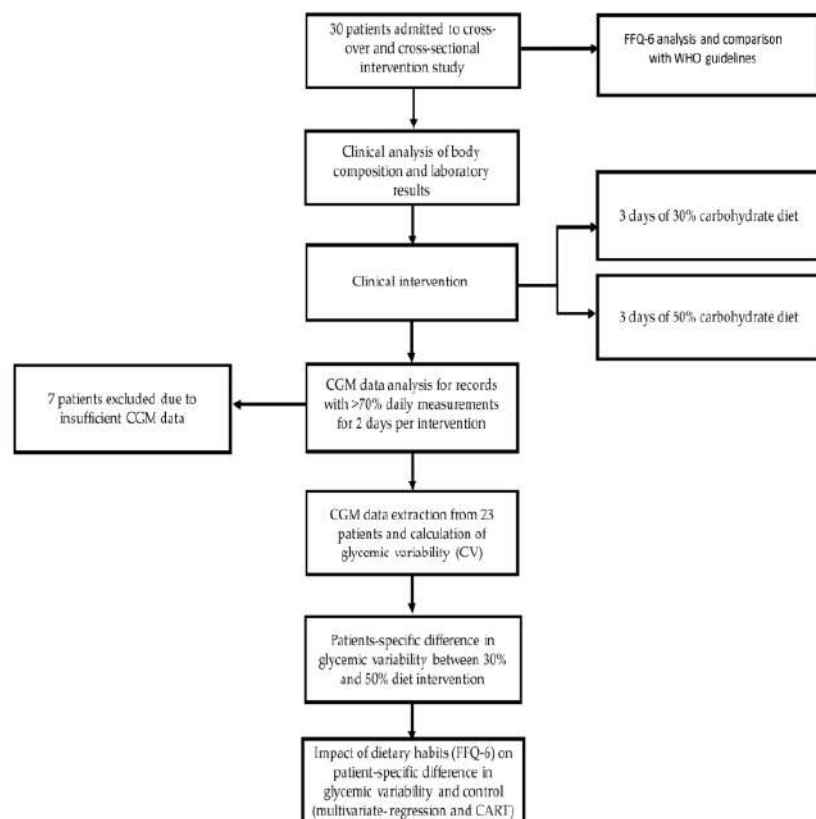


Figure 1. Study design and analysis diagram.

2.2. Ethics Statement

The study protocol was approved by the Bioethical Commission of the Medical University of Gdańsk (no. NKBBN/299/2019). Each participant and their parents were informed of the study protocol by the principal investigator and signed the written consent form.

2.3. Collecting Clinical and Food Preferences Data

Dietary habits were assessed by the frequency-of-consumption questionnaire (FFQ-6), which was obtained from patients under the close supervision of the principal investigator. It is generally used to collect information on the frequency of consumption of 62 assorted product groups, representing 8 major food groups (sweets and snacks, dairy products and eggs, grains, fats, fruits and vegetables, meat and fish, beverages). Respondents chose one of six potential answers regarding their food consumption frequency in the last 12 months: (1) never or hardly ever, (2) once a month or less frequently, (3) several times a month, (4) several times a week, (5) daily, (6) several times a day [22]. Obtained data were in rank format; therefore, we recoded them into appropriate frequencies, which were illustrated in the description of the characteristics of the questionnaire. Calculated frequencies from the questionnaire were summed up within the categories, adjusted into portions per day, and compared with the European recommendations.

Patients underwent body composition analyses on enrolment using a TANITA SC-240 MA body composition analyser and the complete clinical evaluation by the paediatric diabetologist at the study initiation and completion. Additionally, before the experiment, blood samples were taken from each patient within standard clinical assessment procedures. Lipid levels, glycated haemoglobin (HbA1c), vitamin D (25-OHD), and liver enzymes (ALAT, AST) from each patient were assayed. HbA1c was assessed via high-performance liquid chromatography (HPLC) with traceable agreement to the Diabetes Control and Complications Trial according to the NGSP program (D-10 Haemoglobin A1c Program; Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA, Bio-Rad, Marnes-la-Coquette, France). The concentration of 25-OHD was assessed by a two-step immunochemical method using microparticles and CMIA chemiluminescent tracer (Abbott Laboratories, Germany). Liver enzymes (ALAT, AST) were assessed via HPLC.

2.4. Collecting Continuous Glucose Monitoring Data

CGM systems allow for the more effective adjustment of insulin doses, which provides information to administer the best possible glycaemic control for the patient, especially in a hospital setting [23]. We utilised CGM sensors (Enlite real-time glucose sensor) to measure glycaemic variability proxy: daily mean glucose, standard deviation (SD), coefficient of variation (CV), and time in range (TIR) [24]. Moreover, all patients in the study were treated with insulin pumps (Medtronic Paradigm 722, Paradigm Veo 754 or MiniMed 640G), which are standard for diabetes care in Poland, where over 70% of paediatric type 1 diabetes patients are treated with pumps, one-third of which use pump integration with CGM sensors [25,26].

Patients' CGM data were included in the analysis only if their CGM records satisfied the quality criteria, defined as at least 70% of daily sensor active time for at least two days of each dietary intervention. Glycaemic variability was computed using the authors' implementation of glycaemic variability indices, as defined in the American Diabetes Association's guidelines [1,6].

2.5. Statistical Analysis

Continuous variables are presented as means \pm standard deviations or median with first and third quantiles, and tested using a t-test or Mann–Whitney's U test depending on normality. Nominal variables were tested using Fisher's exact test.

Changes in glycaemic variability were tested using mixed linear models with a diet (30%, 50%) as a fixed effect and the patient ID as a random effect. In addition, correlation between continuous variables was tested using Pearson r-statistics.

The impact of dietary habits on the difference between glycaemic variability in the dietary intervention was defined as:

$$\Delta GV = GV(\text{diet } 50\%) - GV(\text{diet } 30\%) \quad (1)$$

The impact of dietary habits on glycaemic control was also evaluated using classification and regression trees (CART) analysis, which allows for the automated supervised determination of variables providing the best discrimination of the binary outcome. The benefit of CART over logistic regression is the possibility to investigate nonlinear interactions between variables and outcomes. The application of CART allowed for the best separation of patients with gain in glycaemic control in a specific dietary intervention based on their assessed nutritional habits. Glycaemic control is defined here as time in range 70–180 mg/dL > 70% and CV% < 36%. Results from CART are provided using decision-tree visualisation. As this is a proof-of-concept study, we had no external cohort for independent validation. As such, we applied V-fold cross-validation. Error metrics were reported according to the TRIPOD checklist.

All statistical analyses were performed in Python 3.8 and STATISTICA 13.1 (Dell Inc., Round Rock, TX, USA). The *p* value was considered to be significant at <0.05. No correction for multiple comparisons was applied.

3. Results

3.1. Study Group Characteristics

A total of 30 patients (16 boys and 14 girls) were enrolled in the study, with a median age of 16 (13–17 years). All patients were in the pubertal period, with the majority in the fourth (*n* = 8, 26.67%) and fifth (*n* = 16, 53.33%) Tanner classes. Most of the patients (26, 86.67%) were within 95 centiles for BMI for age and sex; 1 patient was underweight (BMI centile = 8.15), and 3 were obese (BMI centile = 97.069; 96.130; 97.683). All patients were Caucasian, and on clinical evaluation reported only type 1 diabetes, with no significant concomitant diseases or signs of malnutrition. No adverse events were observed in the week before, during, and the week after the introduction of dietary plans. The detailed clinical characteristics of the group are presented in Table 1.

Table 1. Study group characteristics.

Category (<i>n</i> = 30)	Median (25–75%)	Min–Max
Age [years]	16.00 (13.00–17.00)	10–17
Disease time [years]	6.00 (3.00–8.00)	1.00–15.00
BMI centile	78.21 (55.62–89.94)	8.15–97.68
Time using pump [years]	3.00 (1.00–7.00)	1.00–14.00
Initial HbA1c [%]	7.25 (6.90–7.70)	5.40–8.10
Initial HbA1c [mmol/mol]	55.738 (51.913–60.656)	35.519–65.027
Mean daily insulin requirement [u/day/kg of weight]	0.75 (0.59–0.90)	0.20–1.40
Body fat % [Tanita]	20.30 (14.50–29.20)	12.70–39.00
AST [U/L]	17.00 (15.00–19.00)	12.00–40.00
ALAT [U/L]	13.00 (10.00–15.00)	5.00–26.00
TC	169.0 (149.0–188.0)	119.0–257.0
LDL	94.50 (75.0–107.0)	44.0–175.0
HDL	61.50 (52.0–70.0)	30.0–92.0
TG	71.0 (62.0–90.0)	28.0–181.0
Vitamin D ng/mL	21.65 (18.00–27.80)	6.00–40.70

BMI centiles were determined using an appropriate calculator.

3.2. FFQ-6 Results and Interpretation

The dietary patterns of the patients collected from the FFQ-6 are shown in Table 2. It appears that children with T1DM had difficulty following European recommendations on the appropriate amount of macronutrients in their diet. The least number of patients

followed the EU recommendations in the context of bread, grains and potatoes consumption (6.67%), whereas 70% followed the restrictions on meat and fish daily intake. Another alarming aspect is the high consumption of sweets and snacks, which are classified as high carbohydrate foods.

Table 2. Characteristics of the Food Frequency Questionnaire 6 (FFQ-6) responses according to WHO food-based dietary guidelines and WHO sugar intake for adults and children guidelines.

FFQ-6 Category	Median (25–75 Cent.) Portions/d	Min–Max Portions/d	European Recommendations Portions/d	N (%) below the EU Recommendations	N (%) of Patients that Achieved EU Recommendations	N (%) above the EU Recommendations
Meat and fish	1.6 (0.7–2.2)	0.1–3.1	1–2	4 (13.33%)	21 (70.00%)	5 (16.67%)
Fats	2.2 (1.7–2.7)	0.4–5.2	2	5 (16.67%)	12 (40.00%)	13 (43.33%)
Fruits	2.6 (1.7–3.5)	0.1–8.3	–1–2	3 (10.00%)	11 (36.67%)	16 (53.33%)
Fruits and vegetables	5.4 (3.6–6.8)	0.1–15.6	–5–6	7 (23.33%)	11 (36.67%)	12 (40.00%)
Dairy products and eggs	2.3 (1.4–2.8)	0.8–5.7	3–4	18 (60.00%)	9 (30.00%)	3 (10.00%)
Sweets and snacks	0.9 (0.6–1.7)	0.2–3.5	0	–	5 (16.67%)	25 (83.33%)
Vegetables	2.5 (1.5–3.3)	0.0–10.0	–4–5	23 (76.67%)	4 (13.33%)	3 (10.00%)
Bread, grains, potatoes	3.1 (2.3–3.6)	2.0–5.1	–5–6	28 (93.33%)	2 (6.67%)	–

3.3. Glycaemic Variability Analysis Based on Used Diet

After the initial check for CGM record quality, only 23 patients were eligible for a comprehensive assessment of glycaemic variability between dietary plans, giving 111 observations (24 h CGM) in total, as presented in Table 3. Briefly, significant differences were found for: median, CV%, 5th and 25th centiles of glucose, and time below target range (<70 mg/dL; <3.9 mmol/L). A comparison of glycaemic variability indices between diets is shown in Figure 2.

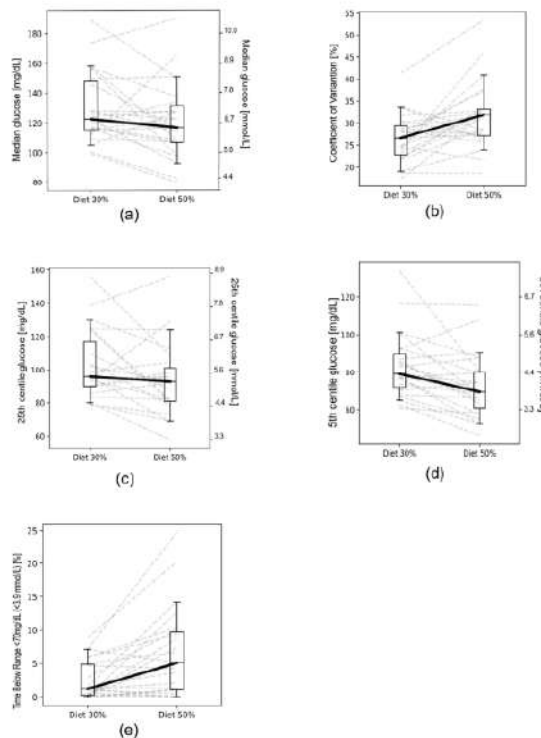


Figure 2. Comparison between particular glycaemic variables for 30% and 50% diets: (a) median; (b) coefficient of variation (%); (c) 25th cent.; (d) 5th cent.; (e) time below range 70 mg/dL (<3.9 mmol/L). Dashed lines represent parameter changes between diets, as specified per individual patients.

Table 3. Comparison of glycaemic parameters based on used diet.

GV	Diet 30% Mean \pm SD (<i>n</i> = 23)	Diet 50% Mean \pm SD (<i>n</i> = 23)	Change for Diet 30% Mean \pm SD (<i>n</i> = 111)	<i>p</i>
Mean glucose (mg/dL)	133.16 \pm 23.94	125.95 \pm 22.88	+5.77 \pm 22.70	0.0620
Median glucose (mg/dL)	129.78 \pm 23.46	120.95 \pm 25.49	+6.17 \pm 21.53	0.0470
25th centile glucose (mg/dL)	105.14 \pm 20.24	96.00 \pm 21.49	+5.23 \pm 16.81	0.0060
75th centile glucose (mg/dL)	156.75 \pm 29.09	149.02 \pm 26.64	+5.69 \pm 31.72	0.1450
5th centile glucose (mg/dL)	83.40 \pm 17.11	72.69 \pm 16.92	+6.69 \pm 16.30	0.0001
95th centile glucose (mg/dL)	197.52 \pm 39.39	201.43 \pm 36.91	+9.37 \pm 57.84	0.6280
SD (mg/dL)	35.4 \pm 9.653	39.39 \pm 10.12	+0.16 \pm 16.38	0.0750
CV (%)	26.50 \pm 5.43	31.68 \pm 7.57	−2.45 \pm 8.12	0.0005
Time below target range <54 mg/dL (<3 mmol/L) (%)	0.43 \pm 0.91	1.98 \pm 3.91	+0.07 \pm 3.51	0.0950
Time below target range <70 mg/dL (<3.9 mmol/L) (%)	2.49 \pm 2.76	6.49 \pm 6.56	−1.01 \pm 4.80	0.0003
Time in target range 70–180 mg/dL (%)	82.45 \pm 13.83	77.89 \pm 13.76	−1.65 \pm 13.42	0.1440
Time in target range 180–250 mg/dL (>10 mmol/L) (%)	12.74 \pm 11.93	11.88 \pm 11.63	+1.58 \pm 11.66	0.7460
Time above target range >250 mg/dL (>13.9 mmol/L) (%)	1.90 \pm 3.22	1.77 \pm 2.66	+1.02 \pm 5.30	0.8270

Abbreviations: standard deviation (SD); coefficient of variation (CV); time above range (TAR); time below range (TBR); time in range (TIR).

3.4. Analysis of Glycaemic Variability Indices between Diets in the Context of Nutritional Habits

Of the 30 children with T1DM included in the study, only 23 participants met the CGM data quality requirements, providing a total of 111 observation days. To discern differences observed in glycaemic variability between the diets, we utilised data on nutritional habits from the FFQ-6 questionnaire. The high consumption of fruit juices and carbonated drinks decreased the risk of hypoglycaemia in the 30% carbohydrate diet, as measured by the percentage of time spent below 70 mg/dL (<3.9 mmol/L) ($p = 0.0401$, 0.0183 , respectively) and the 5th centile of daily glucose values ($p = 0.0209$, 0.0401 , respectively). The full results of the nominal variable analysis are provided in Supplementary Table S1.

3.5. Individual Response to Low Carbohydrate Diet Predicted by FFQ-6 Questionnaires

To determine which patient would benefit the most from a 30% carbohydrate diet, we applied the CART model to the binary outcome of the glycaemic control (defined as CV < 36% and TIR70–180 mg/dL > 70%). CART analysis identified that patients consuming more vegetables or grains (>4 times per day), more wheat products (>once per day), fewer fats (<1.5 times per day), and ranking fruit juice as the most common selection in the drinks category, achieved glycaemic control more often after the introduction of the 30% carbohydrate diet (Figure 3). In contrast, if patients were not conditioned in the described way, the switch to the 30% carbohydrate diet could negatively impact glycaemic control. In comparison, the 50% carbohydrate diet was safe for all patients in the context of glycaemic control.

The CART model yielded satisfactory accuracy on training (95.65%) and V-fold cross-validation (81.67%). We also aimed to discern which nutritional and clinical information could determine the difference between the 30% and 50% diets (Δ GV, as described in Equation (1)). The backward stepwise feature selection algorithm determined included features in each multifactor linear regression for the selected Δ GV indices (mean glucose, coefficient of variation (%), time below target range <70 mg/dL (<3.9 mmol/L), 70–180 mg/dL (3.9–10 mmol/L) and >180 mg/dL (>10 mmol/L)). Each model was validated with V-fold cross-validation. We summarised model errors with the determination coefficient R^2 corrected for the number of features (Table 4).

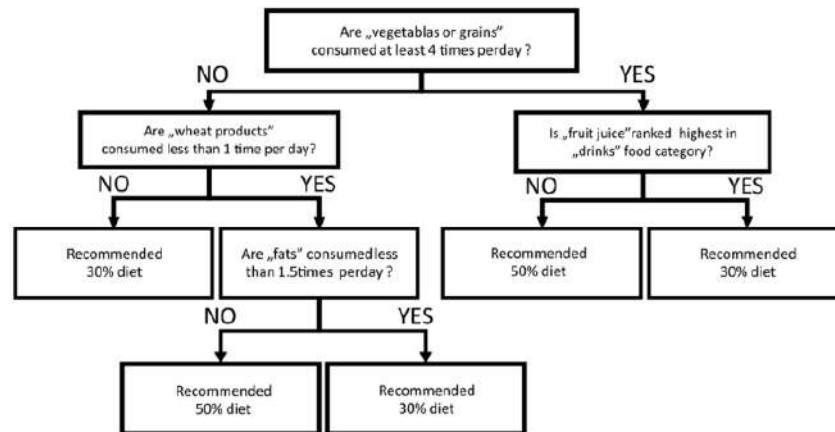


Figure 3. Decision-tree diagram for classification and regression trees (CART) analysis. Influence of FFQ-6 measured nutritional habits in the benefit of glycaemic control after dietary intervention (30% or 50% carbohydrate diet).

Table 4. Coefficient determination (R^2) and beta coefficients for multivariate linear regression models for change in selected glycaemic variability indices between the diets (Δ GVs).

Δ GV (50–30% Diet)	R^2	Observed FFQ6 and Clinical Data Influence on Δ GV
Mean	0.5084	$-0.40 \times$ (white bread most common (0/1)) $0.57 \times$ (frequency of meat/fish meals consumed per day)
CV%	0.4401	$0.60 \times$ (frequency of grains meals consumed per day) $-0.42 \times$ (frequency of drinks consumed per day)
TBR < 70 mg/dL	0.2453	$0.53 \times$ (frequency of grains consumed per day)
TIR 70–180 mg/dL	0.6398	$0.42 \times$ (white bread most common (0/1)) $0.35 \times$ (potatoes most common (0/1)) $-0.54 \times$ (frequency of meat/fish meals consumed per day)
TAR > 180 mg/dL	0.6180	$0.57 \times$ (frequency of meat/fish meals consumed per day) $0.39 \times$ (frequency of sweets and snacks consumed per day) $0.37 \times$ (level of 25OHD3)

4. Discussion

These diets were prepared following the principles of a low glycaemic diet considering starch resistance and fixed mealtimes [10] Insulin doses were administered to children during the carbohydrate portions to avoid any combined or extended boluses. Additionally, patients drank at least 2 litres of still water per day. All patients had the same physical activity during the experiment to exclude additional factors affecting glucose variability. We registered no acute hypo- or hyperglycaemic events during the study.

According to the frequency of FFQ-6 data, participants had similar eating habits and made comparable nutrition mistakes when it came to the consumption of carbohydrates in comparison with the amount of protein and fat in their diets.

Our study focused on the impact of glycaemic variability while introducing children with T1DM to specific diets using a continuous glucose monitoring system. There is still no recommendation on how to safely introduce a low-carbohydrate diet to children with T1DM. Therefore, we investigated this issue in a small group of children with T1DM.

Significant differences in CV% and TBR (<70 mg/dL; <3.9 mmol/L) between the two diets suggested that there is potential for better glycaemic control on low-carbohydrate (30%) intake. Souza Bosco Paiva et al., and Lennerz et al. [27,28] came to a similar conclusion. Furthermore, they observed better HbA1c and glycaemic control in chil-

dren with T1DM on a very low carbohydrate diet [21]. In contrast, other authors paid more attention to an individual approach to the patients' and their bodies' demand for carbohydrates [29,30].

Median, 5th, and 25th centile glucose values were better for the 50% carbohydrate diet (though the difference was not statistically significant). Moreover, interpatient variability in the Δ GV is of relevant magnitude to consider possible unaccounted biases. One such source of bias might be the difference in the dynamics of energy consumption or errors in BMR estimation (BMR was based on TANITA's algorithm). Both factors could be conditioned by physical fitness (i.e., differences in muscle mass or muscle-to-fat ratio), which was not accounted for in the data collection protocol. The role of activity in maintaining metabolic control was demonstrated by Myśliwiec et al. [31]. Their research showed that physical activity is a critical factor in controlling glycaemic excursions in young males with T1DM. The same results were emphasised in many in several previous publications, for example, Riddell et al. [32], and Bally et al. [33].

However, both the quantity and quality of carbohydrates are of paramount importance. Patients with a previous high consumption of fruit juices and carbonated drinks had a lower risk of time spent below the optimal glucose level range (TIR) ($p = 0.0401$, $p = 0.0183$, respectively), and their 5th centile of daily glucose values was higher in the 30% carbohydrate diet ($p = 0.0209$, $p = 0.0401$, respectively). The same phenomenon describing this tendency was observed by de Bock et al. [34], and Mansoor et al. [35].

Furthermore, our study emphasised the importance of properly balanced meals. The choice of carbohydrates and how they are prepared are keys to achieving better glycaemic control. Reynold et al. [36], Sterner Isaksson et al. [37], and Nansel et al. [9] had the same suggestions. They observed that, with adequate intake of dietary fibre, low-glycaemic-index products resulted in a lower tendency of hypo- and hyperglycaemia.

Moreover, using CART analysis and FFQ-6, we could determine which patients may benefit the most from going on a 30% diet, or staying or aiming for a 50% diet. Patients consuming more vegetables or grains (>4 times per day), more wheat products (>once per day), fewer fats (<1.5 times per day) and drinking fruit juice as the most common beverage achieved glycaemic control more often after the introduction of a 30% carbohydrate diet. High accuracy achieved in training (95.65%) and V-fold cross-validation (81.67%) suggested a significant impact of food habits on patients' response to introduced nutritional changes. Our observation showed that a well-balanced diet under the principles of proper nutrition helps clinicians control glycaemic variability among patients with T1DM and prevents the occurrence of hypoglycaemia. This beneficial role of the average amount of carbohydrates is explained well in other studies [38,39].

5. Conclusions

Patients consuming fewer carbohydrates are better metabolically balanced. Thus, despite the limited observation time for introduced diets, our research confirmed that proper nutrition and an individual approach to a patient's diet results in better metabolic control. However, given that this is the first study suggesting that eating patterns may influence the adjustment to a low-carbohydrate diet, further research is required before developing definitive recommendations around an optimal nutritional programme for children with T1DM.

Supplementary Materials: The following are available online at <https://www.mdpi.com/article/10.3390/nu13113815/s1>, Table S1: Summary and nominal p -values for FFQ-6 questionnaire responses.

Author Contributions: Conceptualisation, M.M., A.L., J.C. and A.C.; methodology, M.M., A.L., J.C., A.C. and W.F.; software, J.C., A.C. and W.F.; formal analysis, J.C. and A.C.; investigation, A.L. and M.M.; resources, A.L. and M.M.; data curation, A.L., M.M., J.C. and A.C.; writing—original draft preparation, A.L., J.C. and A.C.; writing—review and editing, A.C., J.C., A.L., M.M. and W.F.; visualisation, J.C. and A.C.; supervision, M.M. and W.F.; project administration, M.M. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received funding from statutory work number ST 120,02-0120/07/156.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by the Bioethics Committee of the Medical University of Gdańsk (No. NKBBN/299/2019).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: Data presented in this study are available on request from the corresponding author. The data are not publicly available due to subjects' privacy.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Standards of Medical Care in Diabetes—2021 Abridged for Primary Care Providers. *Clin. Diabetes* **2021**, *39*, 14–43. [CrossRef]
- Pathak, V.; Pathak, N.M.; O'Neill, C.L.; Guduric-Fuchs, J.; Medina, R.J. Therapies for Type 1 Diabetes: Current Scenario and Future Perspectives. *Clin. Med. Insights Endocrinol. Diabetes* **2019**, *12*, 1179551419844521. [CrossRef]
- Szalecki, M.; Wysocka-Mincewicz, M.; Ramotowska, A.; Mazur, A.; Lisowicz, L.; Beń-Skowronek, I.; Sieniawska, J.; Klonowska, B.; Charemska, D.; Nawrotek, J.; et al. Epidemiology of type 1 diabetes in Polish children: A multicentre cohort study. *Diabetes/Metab. Res. Rev.* **2018**, *34*, e2962. [CrossRef]
- Grabia, M.; Markiewicz-Zukowska, R.; Socha, K. Prevalence of Metabolic Syndrome in Children and Adolescents with Type 1 Diabetes Mellitus and Possibilities of Prevention and Treatment: A Systematic Review. *Nutrients* **2021**, *13*, 1782. [CrossRef] [PubMed]
- Araszkiewicz, A.; Bandurska-Stankiewicz, E.; Borys, S.; Budzyński, A.; Cyganek, K.; Cypryk, K.; Czech, A.; Czupryniak, L.; Drzewoski, J.; Dzida, G.; et al. 2021 Guidelines on the management of patients with diabetes. A position of Diabetes Poland. *Clin. Diabetol.* **2021**, *10*, 1–113. [CrossRef]
- Danne, T.; Nimri, R.; Battelino, T.; Bergenstal, R.M.; Close, K.L.; DeVries, J.H.; Garg, S.; Heinemann, L.; Hirsch, I.; Amiel, S.A.; et al. International Consensus on Use of Continuous Glucose Monitoring. *Diabetes Care* **2017**, *40*, 1631–1640. [CrossRef]
- Puhr, S.; Derdzinski, M.; Welsh, J.B.; Parker, A.S.; Walker, T.; Price, D.A. Real-World Hypoglycemia Avoidance with a Continuous Glucose Monitoring System's Predictive Low Glucose Alert. *Diabetes Technol. Ther.* **2019**, *21*, 155–158. [CrossRef]
- Patton, S.R. Adherence to diet in youth with type 1 diabetes. *J. Am. Diet Assoc.* **2011**, *111*, 550–555. [CrossRef]
- Nansel, T.R.; Lipsky, L.M.; Liu, A. Greater diet quality is associated with more optimal glycemic control in a longitudinal study of youth with type 1 diabetes 1,2. *Am. J. Clin. Nutr.* **2016**, *104*, 81–87. [CrossRef]
- Meissner, T.; Wolf, J.; Kersting, M.; Fröhlich-Reiterer, E.; Flechtner-Mors, M.; Salgin, B.; Stahl-Pehe, A.; Holl, R.W. Carbohydrate intake in relation to BMI, HbA1c and lipid profile in children and adolescents with type 1 diabetes. *Clin. Nutr.* **2014**, *33*, 75–78. [CrossRef] [PubMed]
- Clinical Recommendations for the Management of Patients with Diabetes 2021. Statement of the Polish Diabetes Society. Available online: www.journals.viamedica.pl (accessed on 11 October 2021).
- Krebs, J.D.; Parry Strong, A.; Cresswell, P.; Reynolds, A.N.; Hanna, A.; Haeusler, S. A randomised trial of the feasibility of a low carbohydrate diet vs standard carbohydrate counting in adults with type 1 diabetes taking body weight into account. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* **2016**, *25*, 78–84.
- Seckold, R.; Fisher, E.; de Bock, M.; King, B.R.; Smart, C.E. The ups and downs of low-carbohydrate diets in the management of Type 1 diabetes: A review of clinical outcomes. *Diabet. Med.* **2019**, *36*, 326–334. [CrossRef]
- World Health Organization. *Reducing Childhood Obesity in Poland by Effective Policies*; World Health Organization: Copenhagen, Denmark, 2017.
- Szczyrska, J.; Jankowska, A.; Brzeziński, M.; Jankowski, M.; Metelska, P.; Szlagatys-Sidorkiewicz, A. Prevalence of Overweight and Obesity in 6–7-Year-Old Children—A Result of 9-Year Analysis of Big City Population in Poland. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 3480. [CrossRef]
- Bandurska, E.; Brzeziński, M.; Metelska, P.; Zarzeczna-Baran, M. Cost-Effectiveness of an Obesity Management Program for 6- to 15-Year-Old Children in Poland: Data from Over Three Thousand Participants. *Obes. Facts* **2020**, *13*, 487–498. [CrossRef]
- Głabska, D.; Skolmowska, D.; Guzek, D. Population-Based Study of the Changes in the Food Choice Determinants of Secondary School Students: Polish Adolescents' COVID-19 Experience (PLACE-19) Study. *Nutrients* **2020**, *12*, 2640. [CrossRef]
- Łuszczki, E.; Bartosiewicz, A.; Pezdan-Śliż, I.; Kuchciak, M.; Jagielski, P.; Oleksy, L.; Stolarczyk, A.; Dereń, K. Children's Eating Habits, Physical Activity, Sleep, and Media Usage before and during COVID-19 Pandemic in Poland. *Nutrients* **2021**, *13*, 2447. [CrossRef]
- Craig, M.E.; Hattersley, A.; Donaghue, K.C. Definition, epidemiology and classification of diabetes in children and adolescents. *Pediatr. Diabetes* **2009**, *10* (Suppl. S12), 3–12. [CrossRef]
- Aliant Diet Calculator. Available online: www.aliant.com.pl (accessed on 11 October 2021).
- Jarosław, M.; Rychlik, E.; Stoś, K.; Chazewska, J. *Nutrition Standards for the Population of Poland and Their Application*; PZH: Warsaw, Poland, 2020.

22. Niedzwiedzka, E.; Wadolowska, L. Accuracy analysis of the food intake variety questionnaire (FIVEQ). Reproducibility assessment among older people. *Pak. J. Nutr.* **2008**, *7*, 426–435. [[CrossRef](#)]
23. Battelino, T.; Danne, T.; Bergenstal, R.M.; Amiel, S.A.; Beck, R.; Biester, T.; Bosi, E.; Buckingham, B.A.; Cefalu, W.T.; Close, K.L.; et al. Clinical Targets for Continuous Glucose Monitoring Data Interpretation: Recommendations from the International Consensus on Time in Range. *Diabetes Care* **2019**, *42*, 1593–1603. [[CrossRef](#)]
24. Gaabay, M.A.L.; Rodacki, M.; Callairi, L.E. Time in range: A new parameter to evaluate blood glucose control in patients with diabetes. *Diabetol. Metab. Syndr.* **2020**, *12*, 22. [[CrossRef](#)]
25. Campbell, F.M.; Murphy, N.P.; Stewart, C. Outcomes of using flash glucose monitoring technology by children and young people with type 1 diabetes in a single arm study. *Pediatr. Diabetes* **2018**, *19*, 1294–1301. [[CrossRef](#)]
26. Order of the President of the National Health Fund No. 67/2011 // DSOZ of October 18, 2011 on Defining the Conditions for Concluding and Implementing Contracts Such as Health Services Contracted Separately. Available online: www.eur-lex.europa.eu (accessed on 11 October 2021).
27. De Souza Bosco Paiva, C.; Lima, M.H.M. Introducing a very low carbohydrate diet for a child with type 1 diabetes. *Br. J. Nurs.* **2019**, *28*, 1015–1019. [[CrossRef](#)]
28. Lennerz, B.S.; Barton, A.; Bernstein, R.K.; Dikeman, R.D.; Diulus, C.; Hallberg, S.; Rhodes, E.T.; Ebbeling, C.B.; Westman, E.C.; Yancy, W.S.; et al. Management of Type 1 Diabetes with a Very Low-Carbohydrate Diet. *Pediatrics* **2018**, *141*, e20173349. [[CrossRef](#)]
29. Scott, S.N.; Anderson, L.; Morton, J.P.; Wagenmakers, A.J.; Riddell, M.C. Riddell Carbohydrate Restriction in Type 1 Diabetes: A Realistic Therapy for Improved Glycaemic Control and Athletic Performance? *Nutrients* **2019**, *11*, 1022. [[CrossRef](#)]
30. Campbell, M.D.; Kime, N.; McKenna, J. Exercise and physical activity in patients with type 1 diabetes. *Lancet Diabetes Endocrinol.* **2017**, *5*, 493. [[CrossRef](#)]
31. Myśliwiec, A.; Skalska, M.; Michalak, A.; Chrzanowski, J.; Szmigiero-Kawko, M.; Lejk, A.; Jastrzębska, J.; Radzimiński, Ł.; López-Sánchez, G.F.; Gawrecki, A.; et al. Responses to Low- and High-Intensity Exercise in Adolescents with Type 1 Diabetes in Relation to Their Level of VO₂ Max. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 692. [[CrossRef](#)]
32. Riddell, M.C.; Gallen, I.W.; Smart, C.E.; Taplin, C.E.; Adolfsson, P.; Lumb, A.N.; Kowalski, A.; Rabasa-Lhoret, R.; McCrimmon, R.J.; Hume, C.; et al. Exercise management in type 1 diabetes: A consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol.* **2017**, *5*, 377–390. [[CrossRef](#)]
33. Bally, L.; Zueger, T.; Buehler, T.; Dokumaci, A.S.; Speck, C.; Pasi, N.; Ciller, C.; Paganini, D.; Feller, K.; Loher, H.; et al. Metabolic and hormonal response to intermittent high-intensity and continuous moderate intensity exercise in individuals with type 1 diabetes: A randomised crossover study. *Diabetologia* **2016**, *59*, 776–784. [[CrossRef](#)]
34. De Bock, M.; Lobley, K.; Anderson, D.; Davis, E.; Donaghue, K.; Pappas, M.; Sifarikas, A.; Cho, Y.H.; Jones, T.; Smart, C. Endocrine and metabolic consequences due to restrictive carbohydrate diets in children with type 1 diabetes: An illustrative case series. *Pediatr. Diabetes* **2018**, *19*, 129–137. [[CrossRef](#)]
35. Mansoor, N.; Vinknes, K.J.; Veierad, M.B.; Retterstøl, K. Effects of low-carbohydrate diets v. low-fat diets on body weight and cardiovascular risk factors: A meta-analysis of randomised controlled trials. *Br. J. Nutr.* **2016**, *115*, 466–479. [[CrossRef](#)]
36. Reynolds, A.N.; Akerman, A.P.; Mann, J. Dietary fibre and whole grains in diabetes management: Systematic review and meta-analyses. *PLoS Med.* **2020**, *17*, e1003053. [[CrossRef](#)]
37. Isaksson, S.S.; Bacos, M.B.; Eliasson, B.; Adolfsson, E.T.; Rawshani, A.; Lindblad, U.; Jendle, J.; Berglund, A.; Lind, M.; Axelsen, M. Effects of nutrition education using a food-based approach, carbohydrate counting or routine care in type 1 diabetes: 12 months prospective randomized trial. *BMJ Open Diabetes Res. Care* **2021**, *9*, e001971. [[CrossRef](#)]
38. Bell, K.J.; Smart, C.E.; Steil, G.M.; Brand-Miller, J.C.; King, B.; Wolpert, H.A. Impact of fat, protein, and glycemic index on postprandial glucose control in type 1 diabetes: Implications for intensive diabetes management in the continuous glucose monitoring era. *Diabetes Care* **2015**, *38*, 1008–1015. [[CrossRef](#)]
39. Adolfsson, P.; Riddell, M.C.; Taplin, C.E.; Davis, E.A.; Fournier, P.A.; Annan, F.; Scaramuzza, A.E.; Hasnani, D.; Hofer, S.E. ISPAD Clinical Practice Consensus Guidelines 2018: Exercise in children and adolescents with diabetes. *Pediatr. Diabetes* **2018**, *19* (Suppl. S27), 205–226. [[CrossRef](#)]

**2.2. A. Lejk, J. Chrzanowski, A. Cieślak ,
W. Fendler, M. Myśliwiec.**

***Reduced Carbohydrate Diet Influence on Postprandial
Glycemia-Results of a Short, CGM-Based, Interventional
Study in Adolescents with Type 1 Diabetes. Nutrients 2022
Nov 5;14(21):4689.***

DOI: 10.3390/nu14214689.

Wskaźnik Impact Factor ISI: 6.706, Punktacja MNiSW: 140

Brief Report

Reduced Carbohydrate Diet Influence on Postprandial Glycemia—Results of a Short, CGM-Based, Interventional Study in Adolescents with Type 1 Diabetes

Agnieszka Lejk ^{1,†}, Jędrzej Chrzanowski ^{2,†}, Adrianna Cieślak ², Wojciech Fendler ² and Małgorzata Mysliwiec ^{1,*}

¹ Department of Pediatrics, Diabetology and Endocrinology, Medical University of Gdansk, 80-211 Gdansk, Poland

² Department of Biostatistics and Translational Medicine, Medical University of Lodz, 92-215 Lodz, Poland

* Correspondence: malgorzata.mysliwiec@gumed.edu.pl; Tel.: +48-42-272-53-85

† These authors contributed equally to this work.

Abstract: Therapy for type 1 diabetes (T1DM) focuses on maintaining optimal blood glucose levels, achieved with intensive insulin treatment, proper nutrition, and physical activity. The aim of this study was to investigate postprandial glycemic changes under low (30%) and standard (50%) carbohydrate diets in adolescents with T1DM. A single-center cross-over nutritional study was conducted, during which 26 adolescent patients provided 220 continuous glucose-monitored (CGM) meals data from the two consecutive 3-day nutritional plans. Overall, the 50% carbohydrate diet was associated with higher postprandial glucose variability in the small meals (afternoon snacks, second breakfast) and greater postprandial peaks for other meals (breakfast, dinner, supper). Nevertheless, after the adjustment of a patient's individual clinical variables (age, Tanner classification, glucose disposal rate), we observed that mean postprandial glucose was higher for afternoon snacks and lower for suppers in the 30% carbohydrate diet. Although a 30% carbohydrate diet seems to offer better postprandial glycemia, it requires additional attention from the physician and patient when it comes to modifying daily carbohydrate intake. Increased fat/protein content and size of the main meal lead to a prolonged postprandial glycemic response, which may affect the insulin treatment and result in suboptimal glycemic control.

Keywords: pediatric diabetes; carbohydrates; individualized nutritional guideline



Citation: Lejk, A.; Chrzanowski, J.; Cieślak, A.; Fendler, W.; Mysliwiec, M. Reduced Carbohydrate Diet Influence on Postprandial Glycemia—Results of a Short, CGM-Based, Interventional Study in Adolescents with Type 1 Diabetes. *Nutrients* **2022**, *14*, 4689. <https://doi.org/10.3390/nu14214689>

Academic Editor: Yoshitaka Hashimoto

Received: 8 October 2022

Accepted: 31 October 2022

Published: 5 November 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Type 1 diabetes mellitus is characterized by the autoimmune destruction of pancreatic beta cells, resulting in insufficient insulin production and the development of hyperglycemia [1]. Therapy for type 1 diabetes (T1DM) focuses on maintaining optimal blood glucose levels, achieved with intensive insulin treatment, proper nutrition, and physical activity. According to the principles of proper nutrition from Diabetes Poland, carbohydrates should comprise 45–60% of the daily energy requirement and the simple sugars contained in it should not exceed 10%. In a properly balanced diet, protein should comprise 15–20% of the total daily caloric intake, and fats should comprise 25–40% [2].

The standard of clinical care is to utilize self-monitoring of blood glucose and estimate the insulin requirement for the given meal [3]. However, achieving optimal therapy is challenging due to the complexity of matching insulin requirements for different meals and their quantity of carbohydrates, fats, and proteins. Nowadays, paying attention to insulinemic response along with glycemic response using an insulin index is much more effective in better metabolic control of diabetes [4,5]. In addition, other issues, i.e., patients' fear of hypoglycemic episodes, affect optimal decision-making [6]. Those factors result in the increased rate of high blood glucose events such as postprandial hyperglycemia. In

turn, suboptimal glycemic-control results in long-term diabetes complications, including nephropathy, retinopathy, neuropathy, and cardiovascular disease.

The dietary guidelines recommend the consumption of foods that provide a moderate and sustained postprandial glycemic response (PPGR) in order to minimize glucose excursions [7]. Recent scientific reports underline the importance of the composition of fats and protein, which, together with the glycemic index and glycemic load, play a pivotal role in the PPGR [4].

Although efficient and cost-effective, this method is still frequently associated with suboptimal insulin intake. Recent advancements, including the development of continuous glucose monitoring (CGM) and closed-loop systems, provided more in-depth information on the dynamics of postprandial glycaemia.

Herein, we wanted to investigate changes in postprandial glycemic responses (PPGR) in low (30%) and standard (50%) carbohydrate diets in adolescents with T1DM, taking into account both nutritional factors and the interindividual variability of patients.

2. Materials and Methods

Pediatric patients (aged 8–16) with at least a 1-year duration of T1DM and an HbA1c level $\leq 9.0\%$ (75 mmol/mol) participated in a nutritional interventional study conducted in a Diabetes Reference Center in Gdansk, Poland. Patients with concomitant chronic diseases associated with special dietary requirements were excluded. Participants underwent CGM-monitored crossover nutritional intervention.

Every patient was introduced to two consecutive 3-day nutritional plans, with carbohydrates comprising 30% and 50% of the daily energy requirement. Before the intervention, each patient underwent a nutritional interview. On its basis, both diets were created following the nutritional standards for Polish children in 2021, taking into account the patient's gender, age, and physical activity. Two consecutive 3-day nutritional plans were created with carbohydrates comprising 30% or 50% of the daily energy requirement. In planning the diets, attention was paid to the principles of a diet with a low glycemic index, including resistant starch or preparation of meals. Diets were composed and evaluated using the diet program Aliant and scored using the menu score.

The calories for both diets were calculated using Harris Benedict's basal metabolic rate (BMR) formula for males = $66.47 + (13.7 \times \text{ideal body weight in kg}) + (5 \times \text{height in cm}) - (6.76 \times \text{age in years})$ and for females = $655.1 + (9567 \times \text{ideal body weight in kg}) + (1.85 \times \text{height in cm}) - (4.68 \times \text{age in years})$, respectively.

The Low Physical Activity Index was then added to the Total Metabolic Rate (TMR). On a carbohydrate-restricted diet, fats make up 40% and protein makes up 30% of the daily energy requirement, whereas on a 50% diet, fats make up 30% and protein makes up 20%, respectively. In the final phase, the daily energy requirement was divided into five meals, with the third meal ("dinner") having the highest caloric value.

The nutritional plans were mainly composed of whole grain cereal products, e.g., rye bread, groats, and brown rice which accounted for 90% of the energy from carbohydrates, whereas simple sugars constituted up to 10% and came from fruit or natural dairy products. Raw or cooked vegetables appeared in almost every meal, which accounted for about 10% of the energy due to their low caloric value. A total of 40% of the energy from protein consisted of natural dairy products, e.g., yogurts and cottage cheese, and the rest was comprised of meat or fish. The fats in the diets were mainly of plant origin, e.g., nuts and vegetable oils. The carbohydrate content in the diets was kept at 3–5 g per kg body weight per day. The average fiber content in the individual diets was 30 g per day. The planned meals insulin index was less or equal to 29.

Both diets included five meals per day, served in 3-hour intervals from 7 AM to 7 PM. The second breakfasts were mostly whole grains with a portion of dairy, whereas the afternoon snacks consisted of low GI fruits with nuts or plain yogurts. All meals are detailed in Table 1.

Table 1. Meal and insulin-therapy related factors for meals analysis ($n = 220$ records). Values are provided as % and number of cases or mean \pm standard deviation.

Meal	Diet	Caloric Value (kcal)	Meal Weight (g)	Hydrated Carbon (CHO) (%g)	Carbohydrate Exchange Unit	Fat-Protein Exchange Unit	Fats (g)	Proteins (g)	Meal Insulin Requirements (U)
Breakfast (7:00 AM)	30% $n = 20$	432.50 \pm 59.66	290.50 \pm 51.65	37.00 \pm 6.16	3.68 \pm 0.59	3.55 \pm 0.25	19.50 \pm 2.24	44.75 \pm 1.12	5.29 \pm 2.73
	50% $n = 24$	409.17 \pm 46.92	263.33 \pm 44.59	49.17 \pm 7.17	4.98 \pm 0.73	2.17 \pm 0.38	11.67 \pm 3.81	15.42 \pm 11.41	7.92 \pm 3.02
Second Breakfast (10:00 AM)	30% $n = 21$	332.86 \pm 140.84	173.33 \pm 120.51	25.95 \pm 12.41	2.67 \pm 1.21	1.91 \pm 1.39	5.48 \pm 1.50	10.48 \pm 1.50	3.44 \pm 3.09
	50% $n = 27$	267.22 \pm 34.57	203.70 \pm 25.29	25.37 \pm 6.34	2.31 \pm 0.54	0.90 \pm 0.10	5.00 \pm 0.00	27.04 \pm 2.50	3.06 \pm 1.50
Dinner (1:00 PM)	30% $n = 20$	446.00 \pm 66.24	318.75 \pm 92.05	38.00 \pm 12.81	3.83 \pm 1.23	3.33 \pm 1.38	27.50 \pm 2.56	10.00 \pm 0.00	4.54 \pm 2.08
	50% $n = 24$	523.75 \pm 71.86	447.50 \pm 27.54	68.96 \pm 8.07	7.00 \pm 0.85	3.00 \pm 0.40	20.63 \pm 1.69	10.00 \pm 0.00	8.90 \pm 4.33
Afternoon snack (4:00 PM)	30% $n = 20$	219.50 \pm 81.21	182.75 \pm 28.54	23.00 \pm 7.33	2.33 \pm 0.69	1.22 \pm 0.44	5.25 \pm 1.12	45.00 \pm 0.00	2.67 \pm 1.39
	50% $n = 19$	171.58 \pm 21.15	228.95 \pm 20.25	23.16 \pm 5.82	2.21 \pm 0.48	0.86 \pm 0.10	5.00 \pm 0.00	26.84 \pm 2.99	2.62 \pm 1.69
Supper (7:00 PM)	30% $n = 25$	326.80 \pm 61.68	165.60 \pm 47.62	30.60 \pm 8.08	3.08 \pm 0.77	1.37 \pm 0.70	10.40 \pm 7.35	9.80 \pm 2.27	3.94 \pm 2.14
	50% $n = 20$	346.00 \pm 41.09	214.00 \pm 19.57	47.00 \pm 9.79	4.25 \pm 0.47	1.66 \pm 0.42	11.75 \pm 2.45	10.00 \pm 0.00	4.81 \pm 2.79

Each patient participated in both nutritional interventions, one after another (cross-over and cross-sectional design), with no wash-out period in between. We implemented the 30%-carbohydrate diet in the hospital in order to avoid possible problems with maintaining normal glycemia with a low carbohydrate supply. Patients undergoing a 3-day diet plan with a carbohydrate content of 50% were allowed to follow this diet at home while under continuous supervision by the Principal Investigator using telemedicine solutions. For the 50% carbohydrate diet to be conducted at home, the parents were trained and informed about the diet plan and meal preparation, and remained in continuous contact with the Principal Investigator. Participants were ordered to avoid excessive physical activity during both the hospital stay and at home during the dietary intervention.

All patients were treated with a continuous subcutaneous insulin infusion therapy using Medtronic insulin pumps: Paradigm Veo 754 or 640G connected with Enlite CGM-RT and Guardian Sensor. Boluses and base insulin modifications were determined and administered by the diabetologist. Each patient was monitored for adverse events during the intervention and for 48 h before and after. After nutritional interventions, we manually paired each patient's food intake, insulin therapy, and CGM data to evaluate postprandial glycemia under both diets. We defined meal CGM data as one obtained 30 min prior and 120 min after the meal. Each patient could theoretically provide data from 30 meals. We decided to include only 100% complete records and to exclude CGM data if additional insulin corrections were required for the meal. Further filtering was required to evaluate the inter-patient variability. To this point, we included only those patients who had paired meal CGM data in both diets for the given meal. For instance, if the patient had two breakfasts from the 30% carbohydrate diet and only one breakfast from the 50% carbohydrate diet, all three meals were included in the analysis. However, if the patient had records for three breakfasts from the 30% carbohydrate diet and none from the 50% one, the patient did not meet the above-mentioned criteria, and their data regarding breakfast meals were not analyzed further.

All patients underwent body composition analysis using a TANITA SC-240 MA. Standard laboratory tests were collected from each participant, including HbA1c, vitamin

D, lipid profile, and liver enzymes. The glucose disposal rate was estimated using neural network approximation as described previously [8,9].

The statistical analysis encompassed the identification of critical postprandial glycemic variability metrics through principal component analysis and detrended fluctuation analysis. The selected parameters were compared between the diets using the univariate analysis and a generalized linear mixed model (GLMM) for the adjustment of patient-specific factors. A p -level of 0.05 was chosen as the threshold for significance.

3. Results

Due to the abovementioned filtering criteria, only data from 26 participants were available for analysis (Figure 1a). This group included 14 boys (53.8%) with a median age of 16 (11–17) years and 12 girls (46.2%) with a median age of 15 (14–16.5) years, respectively. The glucose disposal rate of patients was 6.08 (5.25–7.29) mg/(kg × min), BMI at 80.96th (57.95–89.94) centile and HbA1c of 7.2 (6.8–7.6) % (84 (74–89) mmol/mol), respectively (Table S1 (Supplementary Materials)). Patient glycemic control (Time-in-Range) did not significantly differ under the 30% vs. 50% carbohydrate diets (p -value 0.280; Table S2) [7].

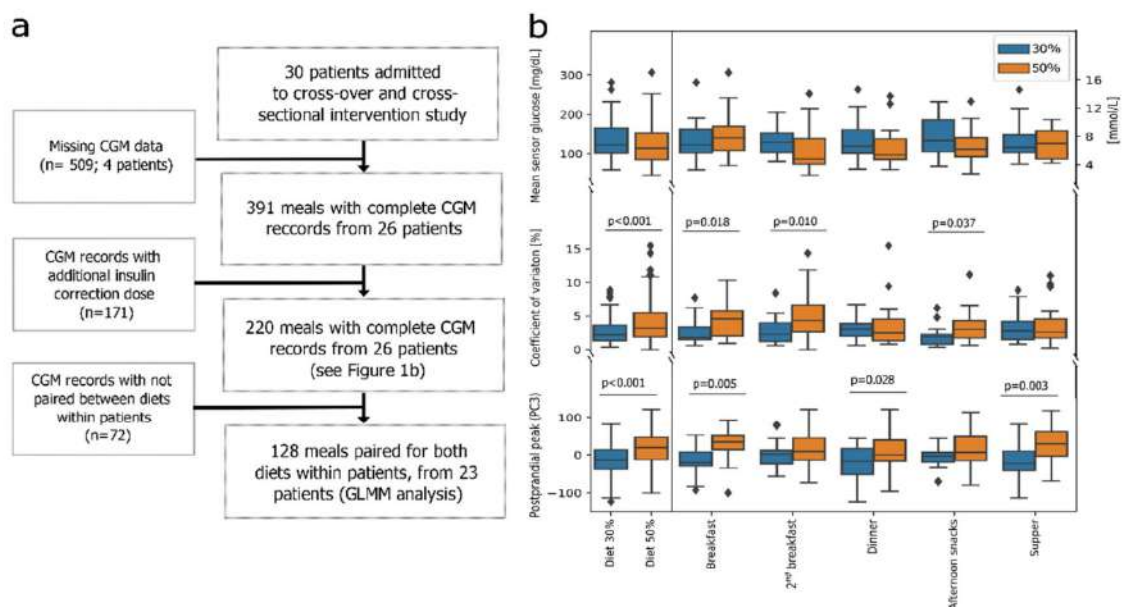


Figure 1. (a) Study flowchart; (b) Comparison of mean sensor glucose, coefficient of variation and postprandial peak between diets and meals for 220 observations. CGM—continuous glucose monitoring; GLMM—generalized linear mixed models; PC3—principal component 3 (see Figure S1). Outliers ($>3SD$) were marked with \blacklozenge .

3.1. Analysis of All Complete Meal Data ($n = 220$)

First, using data from all meals with complete CGM recordings ($n = 220$, Figure 1a, Figure S1), we determined three main characteristics of postprandial glycemia: mean; coefficient of variation (CV%); and peak magnitude. We used those factors for downstream comparisons between diets. Analysis of meal data ($n = 220$, Table 1 and Table S3) showed that the 50% carbohydrate diet resulted in a significantly higher overall postprandial CV% and glucose peak ($p < 0.001$, Figure 1b). Breakfasts, second breakfasts, and afternoon snacks had higher CV%, while breakfasts, dinners, and suppers had higher postprandial peaks in the 50% carbohydrate diet (Figure 1b; Table S3).

3.2. Analysis of Meal Data in Patient-Paired Setup ($n = 128$)

Using paired meal data (Figure 1a; $n = 128$, Tables S4 and S5), we adjusted the data for patient-specific effects using GLMM. The patient-specific effects could be sufficiently modeled using the Tanner stage, age, lipid profile, and insulin sensitivity (R^2 decreased from 0.75 to 0.71, $p = 0.122$). After adjusting for those patient-specific factors, the initially observed differences lost their significance. During the 30% diet, the afternoon snacks resulted in a higher mean postprandial glucose, while suppers presented a significantly higher mean postprandial glucose during the 50% diet. Using GLMM, we also determined that the starting blood glucose and meal size were significant modifiers of mean postprandial glycemia independent of patient-specific factors ($R = 0.54$ and 0.10 , $p < 0.001$).

4. Discussion

The macronutrient content may significantly influence postprandial glycemia. Successful modification of carbohydrate intake requires careful investigation of CGM, a diet plan, and patient clinical data. Despite a homogeneous study population, we observed that differences across patients influenced the interpretation of postprandial glycemia. Fortunately, those differences can be reliably modeled using factors associated with insulin response.

Despite the content of the meal, the metabolic and hormonal response after a meal is also crucial for diabetes management. The degree of insulin sensitivity is one of the main factors in the control of postprandial glycemic response dynamics [7]. Interestingly, a decreased insulin response or insulin resistance is often observed in adolescents with whom growth and sex hormones play a decisive role. It is well known that the former has an anti-insulin effect, as it weakens the ability of insulin to stimulate glucose uptake in peripheral tissues and enhances hepatic glucose synthesis [10,11]. Therefore, we recommend evaluating the patient's Tanner stage, lipid profile, and glucose disposal rate for optimal glycemic control during the dietary intervention.

Continuous glucose monitoring is an excellent tool providing additional information of patients' glycemic control by indication of time spent in the target glucose range. Together with HbA1c, they accurately reflect glycemic control. The dietary intervention (30% vs. 50% carbohydrate diet) had no significant effect on the glycemic control observed in patients prior to the study. This may be due to the short duration of the study, and longer prospective studies are required to fully detect any clinically relevant change.

A significant limitation of our study was using only a simple bolus, which may have limited utility in a 30% carbohydrate diet due to increased fats and protein content. Despite optimal insulin therapy, increased meal size and fat-protein contents were a modifier of postprandial glycemic response (PPGR). In fact, high-fat, protein-rich meals may result in a delayed postprandial glycemic elevation by 3–12 h [12]. This bears implications for clinical practice, as patients are often advised to self-monitor their blood glucose levels ~2 h after the meal [4]. We suspect that the observed (after patient-specific adjustment) elevation of mean postprandial glucose for afternoon snacks in the 30% carbohydrate diet could result from the higher fat and protein content in the dinner meals. Moreover, an elevated starting blood glucose at supper in a 30% carbohydrate diet could lead to insulin bolus over-correction, resulting in overly lowered mean postprandial glucose after supper. Similar studies suggest increasing the insulin dose for high-fat meals by up to 20% and application of a dual-wave dose to optimize the glycemic response [4]. Although there are methods for calculating an additional dose for high protein/fat meals, they do not appear to be practical for daily use and carry an increased risk of hypoglycemia [12].

Future studies of the 30% carbohydrate diet should focus on the level and time after each meal of the postprandial glucose peaks to prevent a hyperglycemic effect. In addition, an interindividual insulin bolus algorithm covering high protein/fat content to optimize therapy approach for T1DM adolescents should also be considered.

5. Conclusions

While a 30% carbohydrate diet presents overall better postprandial glucose, due to its higher fat/protein meal content it requires additional attention from the physician and the patient. A prolonged postprandial glycemic response, often observed after main meals, may lead to overlaps and impede optimal glycemic control.

Supplementary Materials: The following supporting information can be downloaded at: <https://www.mdpi.com/article/10.3390/nu14214689/s1>, Figure S1: Analysis flowchart and reasoning. (a) Recovery of continuous glucose monitoring and insulin pump data for a meal in the trial cohort process was automated using approximated mealtime and paired CGM sensor-insulin pump data. Two independent researchers manually evaluated each record. 220 CGM-monitored meal responses were collected and successfully paired to meals. Next, principal component analysis was performed to determine sources of variability between collected records. (b) Weights from 1st, 2nd and 3rd principal components were mathematically evaluated and paired with most time-series functions: PC1—mean of signal, PC2—slope of 1st-degree polynomial, PC3—coefficients of 2nd-degree polynomial. Heatmaps of raw sensor data (PC1), z-score for the record (PC2) and z-score after detrended fluctuation analysis (PC3) are provided for graphical representation of data. (c) 5 example records after detrended fluctuation analysis are plotted against time to demonstrate 2nd-degree polynomial-like behavior (PC3); Table S1: Study group characteristics; Table S2: Comparison of baseline continuous glucose monitoring (CGM) metrics between 30% and 50% carbohydrate diet; Table S3. Pre- and postprandial glycemia for n = 220 observations; Table S4. Meal and insulin-therapy related factors for meals in paired-meals analysis (n = 128 records); Table S5. Number of meals from each patient taken for statistical analysis. Rows colored gray indicate paired meals.

Author Contributions: Conceptualization, M.M., A.L., J.C., and A.C.; methodology, M.M., A.L., J.C., A.C., and W.F.; software, J.C., A.C., and W.F.; formal analysis, J.C. and A.C.; investigation, A.L. and M.M.; resources, A.L. and M.M.; data curation, A.L., M.M., J.C., and A.C.; writing—original draft preparation, A.L., J.C., and A.C.; writing—review and editing, A.C., J.C., A.L., M.M., and W.F.; visualization, J.C. and A.C.; supervision, M.M. and W.F.; project administration, M.M. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received funding from statutory work number ST 02-10022/0000675/01/156/156/2022.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by the Bioethics Committee of the Medical University of Gdansk (No. NKBBN/299/2019).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: Data presented in this study are available on request from the corresponding author. The data are not publicly available due to subjects' privacy.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Chiang, J.L.; Maahs, D.M.; Garvey, K.C.; Hood, K.K.; Laffel, L.M.; Weinzimer, S.A.; Wolfsdorf, J.I.; Schatz, D. Type 1 Diabetes in Children and Adolescents: A Position Statement by the American Diabetes Association. *Diabetes Care* **2018**, *41*, 2026–2044. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
2. Jarosz, M.; Rychlik, E.; Stoś, K.; Wierzejska, R.; Wojtasik, A.; Szponar, L.; Sajór, I.; Kłosiewicz-Latoszek, L. *Nutrition Standards for the Polish Population*; National Institute of Food and Nutrition: Warsaw, Poland, 2017.
3. Johansen, M.D.; Gjerløv, I.; Christiansen, J.S.; Hejlesen, O.K. Interindividual and Intraindividual Variations in Postprandial Glycemia Peak Time Complicate Precise Recommendations for Self-Monitoring of Glucose in Persons with Type 1 Diabetes Mellitus. *J. Diabetes Sci. Technol.* **2012**, *6*, 356. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Bell, K.J.; Fio, C.Z.; Twigg, S.; Duke, S.-A.; Fulcher, G.; Alexander, K.; McGill, M.; Wong, J.; Brand-Miller, J.; Steil, G.M. Amount and Type of Dietary Fat, Postprandial Glycemia, and Insulin Requirements in Type 1 Diabetes: A Randomized Within-Subject Trial. *Diabetes Care* **2020**, *43*, 59–66. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
5. Rydin, A.A.; Spiegel, G.; Frohnert, B.I.; Kaess, A.; Oswald, L.; Owen, D.; Simmons, K.M. Medical Management of Children with Type 1 Diabetes on Low-Carbohydrate or Ketogenic Diets. *Pediatr. Diabetes* **2021**, *22*, 448–454. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

6. Yari, Z.; Behrouz, V.; Zand, H.; Pourvali, K. New Insight into Diabetes Management: From Glycemic Index to Dietary Insulin Index. *Curr. Diabetes Rev.* **2019**, *16*, 293–300. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Rozendaal, Y.J.; Maas, A.H.; Van Pul, C.; Cottaar, E.J.; Haak, H.R.; Hilbers, P.A.; van Riel, N.A. Model-Based Analysis of Postprandial Glycemic Response Dynamics for Different Types of Food. *Clin. Nutr. Exp.* **2018**, *19*, 32–45. [[CrossRef](#)]
8. Stawiski, K.; Pietrzak, I.; Mlynarski, W.; Fendler, W.; Szadkowska, A. NIRCα: An Artificial Neural Network-Based Insulin Resistance Calculator. *Pediatr. Diabetes* **2018**, *19*, 231–235. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
9. Battelino, T.; Danne, T.; Bergenstal, R.M.; Amiel, S.A.; Beck, R.; Biester, T.; Bosi, E.; Buckingham, B.A.; Cefalu, W.T.; Close, K.L.; et al. Clinical Targets for Continuous Glucose Monitoring Data Interpretation: Recommendations From the International Consensus on Time in Range. *Diabetes Care* **2019**, *42*, 1593–1603. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
10. Wolosowicz, M.; Lukaszuk, B.; Chabowski, A. The Causes of Insulin Resistance in Type 1 Diabetes Mellitus: Is There a Place for Quaternary Prevention? *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 8651. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
11. Oviedo, S.; Contreras, I.; Bertachi, A.; Quirós, C.; Giménez, M.; Conget, I.; Vehi, J. Minimizing Postprandial Hypoglycemia in Type 1 Diabetes Patients Using Multiple Insulin Injections and Capillary Blood Glucose Self-Monitoring with Machine Learning Techniques. *Comput. Methods Programs Biomed.* **2019**, *178*, 175–180. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
12. Furthner, D.; Lukas, A.; Schneider, A.M.; Mörwald, K.; Maruszczak, K.; Gombos, P.; Gomahr, J.; Steigleder-Schweiger, C.; Weghuber, D.; Pixner, T. The Role of Protein and Fat Intake on Insulin Therapy in Glycaemic Control of Paediatric Type 1 Diabetes: A Systematic Review and Research Gaps. *Nutrients* **2021**, *13*, 3558. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

2.3. A. Myśliwiec, A. Lejk, M. Skalska, J. Jastrzębska, B. Sztangierska, Z. Jastrzębski.

*Assessment of the diet of male adolescents suffering from type 1 diabetes. **Pediatr Endocrinol Diabetes Metab.** 2021;27(1):7-11.*

DOI: 10.5114/pedm.2020.101805.

Punktacja MNiSW: 70



Assessment of the diet of male adolescents suffering from type 1 diabetes Ocena sposobu odżywiania nastoletnich chłopców chorujących na cukrzycę typu 1

¹Artur Myśliwiec, ²Agnieszka Lejk, ²Maria Skalska, ¹Joanna Jastrzębska, ²Beata Sztangierska,
¹Zbigniew Jastrzębski

¹Department of Sports Physiology, Gdansk University of Physical Education and Sport, Medical University of Gdansk, Poland

²Department of Paediatrics, Diabetology and Endocrinology, Medical University of Gdansk, Poland

Abstract

Introduction: Currently, 5–10% of diabetes patients are teenagers. During this period the influence of peers and observation of their eating habits plays a significant role. Unfortunately, they differ from the principles of proper nutrition, which according to the PTD Diabetes Poland should be introduced as an element of proper metabolic compensation.

Aim of the study: To assess the condition and dietary habits of male adolescents with type 1 diabetes and to compare their eating habits to generally accepted standards.

Materials and methods: The study participants include 20 boys, aged 14.6 ± 1.58 years, with type 1 diabetes mellitus treated with a personal insulin pump who were diagnosed using ISPAD criteria. In the study anthropometric and questionnaire methods were used, as well as body composition analysis.

Results: In most of the examined subjects, the assessment of nutritional status indicates a proper proportion of adipose tissue ($14.72 \pm 6.25\%$, 8.71 ± 4.10 kg per kg) and muscle mass in the body (28.2 ± 6.93 kg). Unfortunately in a significant group of adolescents, the diet is not properly balanced. Particularly the common problem is the excess of total carbohydrates, including simple sugars.

Conclusions: To sum up, despite systematic education of proper nutrition on glycemic control and prevention of acute and chronic complications, the eating habits of male adolescents differ from those of proper nutrition. Additionally, it should be noted that despite the proper results of the body composition analysis, there is a problem with an erroneously balanced diet.

Key words:

nutrition, balanced diet, type 1 diabetes mellitus.

Streszczenie

Wprowadzenie: Obecnie 5–10% pacjentów chorujących na cukrzycę typu 1 to nastolatki. W tym okresie wpływ rówieśników, obserwacja ich nawyków żywieniowych odgrywa znaczącą rolę. Niestety, bardzo często różnią się one od zasad prawidłowego odżywiania, które według Polskiego Towarzystwa Diabetologicznego powinny być wprowadzone jako element prawidłowego wyrównania metabolicznego pacjentów chorujących na cukrzycę typu 1.

Cel pracy: Ocena stanu i sposobu żywienia nastoletnich chłopców chorujących na cukrzycę typu 1 oraz porównanie ich nawyków żywieniowych z ogólnie przyjętymi normami prawidłowego żywienia.

Materiały i metody: Uczestnikami badania było 20 chłopców w średnim wieku $14,6 \pm 1,58$ roku chorujących na cukrzycę typu 1 leczonych przy użyciu osobistej pompy insulinowej, którzy zostali zdiagnozowani na podstawie kryteriów ISPAD. W badaniu wykorzystano metody antropometryczne, metody ankietowe oraz przeprowadzono analizę składu ciała.

Wyniki: U większości badanych ocena stanu odżywienia wskazuje na prawidłowy rozkład tkanki tłuszczowej ($14,72 \pm 6,25\%$, co średnio stanowi $8,71 \pm 4,10$ kg) i masy mięśniowej w organizmie ($28,2 \pm 6,93$ kg). Niestety, pojawia się bardzo dużo błędów żywieniowych. U znaczącej grupy nastoletnich chłopców dieta nie jest prawidłowo zbilansowana. Szczególnie zwraca uwagę nadmiar węglowodanów ogółem, w tym cukrów prostych.

Wnioski: Podsumowując – pomimo systematycznie prowadzonych edukacji o korzystnym wpływie prawidłowego odżywiania na kontrolę glikemii i profilaktyki ostrych i przewlekłych powikłań w przebiegu cukrzycy typu 1 nawyki żywieniowe nastoletnich chłopców odbiegają od zasad prawidłowego żywienia. Dodatkowo należy zwrócić uwagę, że prawidłowa masa ciała nie świadczy o utrzymaniu odpowiednich nawyków żywieniowych. Ponadto obserwuje się również u tych pacjentów błędnie zbilansowany jadłospis.

Słowa kluczowe:

żywienie, zbilansowana dieta, cukrzyca typu 1.

Received: 9.09.2020

Accepted: 7.10.2020

Conflict of interests: none declared.

Agnieszka Lejk

Department of Pediatrics, Diabetology and Endocrinology

Medical University of Gdansk

Dębinki 7

80-211 Gdansk, Poland

tel. +48 58 349 28 98

e-mail: agnieszka.lejk@op.pl

7

Introduction

Type 1 diabetes mellitus is characterized by autoimmune destruction of beta cells in the pancreas, resulting in insufficient insulin production and the appearance of hyperglycemia [1]. It is one of the most common chronic diseases occurring in children in Poland. Observing the trends in the incidence of the disease in the group of the youngest children in 2025 it is predicted that almost fourfold increase in the incidence [2]. Currently, 5–10% of diabetes patients are teenagers [3]. During this period, the influence of peers and observation of their eating habits plays a significant role [4]. Unfortunately, they very often differ from the principles of proper nutrition, which, according to the PTD Diabetes Poland, should be introduced as an element influencing the proper metabolic balance of patients with type 1 diabetes [5]. According to the adopted standards, carbohydrates should cover 45–50% of the daily energy demand, and the simple sugars contained in it should not exceed 10%. In a balanced diet, protein should cover 15 to 20% of the daily calorie intake and fats 30–35% [6]. Recent publications also emphasize the beneficial effect of a carbohydrate-reduced diet on correct metabolic balance [7]. However, it has not yet been verified how such a diet will affect the physical and mental development of children and adolescents [8].

In addition to the strict principles, the National Food and Nutrition Institute in Warsaw provides knowledge on healthy eating by means of the pyramid of healthy nutrition and lifestyle of children and adolescents. It uses a graphic representation of how often and in what quantity a given group of products should be included in a properly balanced diet [9]. In addition, for adolescents suffering from type 1 diabetes, a diet with a low glycemic index ($GI < 55$) improves glycemic control [10]. Currently, there are numerous publications indicating the beneficial effect of various diets on the proper metabolic control in type 1 diabetic patients and their health status. One of them is the

Mediterranean diet, which has been proven to have a beneficial effect on the physical and mental well-being of children with type 1 diabetes [11].

The aim of this study was to assess the condition and dietary habits of male adolescents with type 1 diabetes and to compare their eating habits to generally accepted standards of proper nutrition. It was assumed that the previously conducted nutritional education, knowledge of the basic principles of proper nutrition will affect the nutritional habits of patients. In addition, it was concluded that the majority of patients will follow the dietary recommendations to maintain proper metabolic balance and prevent the occurrence of complications.

Material and methods

Characteristics of the test group

The study group consisted of 20 boys with type 1 diabetes, who were diagnosed using ISPAD criteria [12]. The examined teenagers remain under the care of the Department of Pediatrics, Endocrinology and Diabetology of the Medical University of Gdansk. On this basis the body mass index (BMI) was calculated, which was $20.4 \pm 2.7 \text{ kg/m}^2$. BMI in pediatric population should be interpreted using percentiles score according with sex and age. In the study group, 7 patients were found to be underweight and none of the qualified individuals were overweight or obese. The mean age of patients was 14.6 ± 1.58 years. The body weight of the studied group was $59.4 \pm 15.0 \text{ kg}$ and the average height was $170.5 \pm 9.2 \text{ cm}$.

Before the test, each patient was presented with a physical effort protocol and all participants signed an informed consent to the examination. Furthermore, the consent to the study was obtained from the Bioethics Committee of the Medical University of Gdansk. Each patient was treated with a personal insulin pump from Medtronic Paradigm Veo or MiniMed 640G. An additional criterion for inclusion in the study group was Tanner II, IV or V sex maturity; balanced physical activity, no ketoacidosis incidents and infrequent occurrence of hypoglycemia in the last five years.

In the study group, the average duration of the disease was 7.4 ± 4.3 years and the average duration of pump therapy was 6.8 ± 4.1 years. The average value of HbA_{1c} was $7.55 \pm 0.84\%$. The exclusion criteria included obesity, other chronic diseases that could affect the occurrence of hypoglycemia and the patient's lack of consent to participate in the study. The general characteristics of the study group are presented in Table I.

Assessment of nutritional status

In each participant the nutritional status was assessed using anthropometric methods (height, body weight). Based on the results obtained, the body mass index (BMI) was calculated using the following formula: Body mass ratio (kg) to height per square (m^2) [13]. Additionally, the WHR (waist – hip) indicator was used, whose formula is the ratio of waist to hip circumference [14]. Its interpretation indicates the distribution of body fat [15]. The body composition was then analyzed by using the InBody 770.

Table I. Characteristics of the study group

Characteristics	Respondent group
Age (years)	14.6 ± 1.6
Height (cm)	170.5 ± 9.2
Body weight (kg)	59.4 ± 10.9
BMI (kg/m^2)	20.4 ± 2.7
Duration of disease (years)	7.4 ± 4.3
Duration of pumped therapy (years)	6.8 ± 4.1
HbA_{1c} (%)	7.55 ± 0.84

BMI – body mass index

Assessment of the diet

During the examination, a thorough nutritional history was conducted; with each boy a nutritional interview was performed and a 7-day dietary diary was recommended. On the basis of the information received, the dietary habits of patients with type 1 diabetes were evaluated. Additionally, a dietary analysis was performed on the basis of the test of Starzynska [16].

Statistical analysis

The statistical analysis was carried out using the arithmetic mean and standard deviation. All calculations were performed using Statistica 13.0.

Results

Body composition analysis

The following results were obtained from the body analysis composition performed by using the InBody 770 device. The average content of adipose tissue was $14.72 \pm 6.25\%$, which is 8.71 ± 4.10 kg per kg. 60% of the examined patients showed a normal body fat content despite the lack of regular physical activity. The average content of skeletal muscles in the examined group was 28.2 ± 6.93 kg, which in half of the adolescents indicated normal body fat content. An additional parameter obtained by using this method was the total body water content, whose average in the examined group was 38.05 ± 8.42 L. More than a half of the examined adolescents were properly hydrated for the reason that this parameter correlates with the content of skeletal muscles in the body. On account of the results obtained, the WHR index was calculated, whose average value in the examined group was 0.796 ± 0.034 , this result does not indicate the occurrence of abdominal obesity in the examined adolescents. The obtained results are presented in Table II.

Analysis of dietary regime

On the basis of the analysis of the patients' diet, the energy demand is covered by three quarters of the study group. According to the accepted standards regarding the macronutrients, less than 45% of adolescents cover the recommended daily

amount of carbohydrates. The very high consumption of monosaccharides is alarming, as almost all subjects (95%, $n = 19$) consumed more than the accepted recommendations of the PTD Diabetes Poland. Additionally, 45% of the respondents did not cover their daily dietary fiber requirements. The research results also indicated that the consumption of the remaining macronutrients, including protein and fat, was not satisfactory. The above-mentioned parameters are presented in Table III.

Dietary habits and meal quality of adolescents with type 1 diabetes were analyzed on the basis of dietary diaries and the test of Starzynska. The majority of the study subjects have very similar nutritional errors, which include: lack of regularity of consumed meals; low consumption of vegetables and fruits; low consumption of whole-grain products; excess consumption of animal products; low consumption of fish, nuts, grains and seeds; occurrence of numerous unhealthy snacks such as sweets, chips; frequent consumption of sweet drinks;

Table II. Body composition analysis

Parameters	Respondent group
Body weight (kg)	59.44 ± 10.94
Height (cm)	170.5 ± 9.20
BMI (kg/m ²)	20.22 ± 2.51
Adipose tissue (kg)	8.71 ± 4.10
Adipose tissue (%)	14.72 ± 6.25
Skeletal muscle mass (kg)	28.2 ± 6.93
Total body water content (l)	38.05 ± 8.42
WHR	0.796 ± 0.034

BMI – body mass index; WHR – waist-hip ratio

Table III. Analysis of nutrition

Characteristics	Below standard (persons)	Standard (persons)	Above standard (persons)
Energy 2000–2600 kcal	5% ($n = 1$)	75% ($n = 15$)	20% ($n = 4$)
Carbohydrates 45– 50%	5% ($n = 1$)	45% ($n = 9$)	50% ($n = 10$)
Simple sugars < 10 %	–	5% ($n = 1$)	95% ($n = 19$)
Dietary fibre 20–40 g	5% ($n = 1$)	45% ($n = 9$)	50% ($n = 10$)
Protein 15–20%	–	65% ($n = 13$)	35% ($n = 7$)
Fats 30–35%	5% ($n = 1$)	50% ($n = 10$)	45% ($n = 9$)

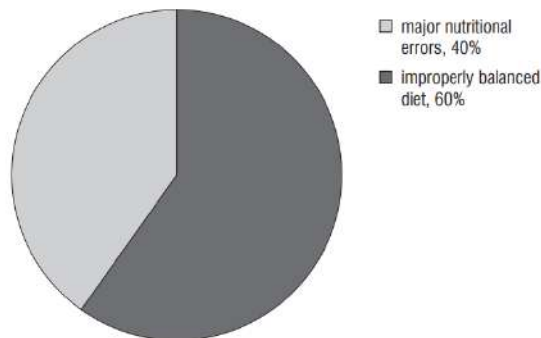


Figure 1. General dietary habits of the studied group

inappropriate portions of meals that are too large; choice of inappropriate technological treatment such as deep-frying.

To evaluate the diet and interpretation of the received menus a test according to Starzynska was applied. By mean of the conducted test it was found that 60% of the subjects had dietary mistakes such as: lack of proper meals, low consumption of lean dairy products, lack of fruits and vegetables as well as lack of groats and dry seeds of legumes. The test results are presented in Figure 1.

Discussion

Numerous publications emphasize the importance of proper nutrition in the process of glycemic control and preventing metabolic complications in the future. The most recent reports from 2019 confirm that the introduction of the principles of rational nutrition together with the recommendations of the Mediterranean diet ensure the maintenance of proper glycemia [17]. The American Diabetes Association also stresses the importance of a properly balanced diet with a reduction in monosaccharides and saturated fatty acids to reduce the need for insulin and maintain normoglycemia [18].

Unfortunately, improper nutrition is very common in adolescents with type 1 diabetes. A study by Race Mackey *et al.* published in 2018 shows that a diet rich in fats and increased energy intake in relation to daily demand has a negative impact on the metabolic control of diabetes [19].

Another study published by Gilbertson *et al.* and Delahanty emphasizes how improper nutrition, including excessive intake of monosaccharides, saturated fatty acid fat and protein, increases the risk of overweight and obesity in children with type 1 diabetes [20]. Moreover, the studies by Delahanta *et al.* have proven that high concentrations of saturated and unsaturated fatty acids consumed in the diet closely interfere with higher values of glycated hemoglobin in children. The analysis of the conducted studies showed that the method of intensive functional insulin therapy with a personal insulin pump may result in reduced dietary restriction in adolescents leading to overweight

development and worse metabolic balance of the disease. The study proved that adolescents with type 1 diabetes had regular snacks and skipped the main meals. The research carried out by Kleinowska *et al.* proved that younger children with type 1 diabetes followed a more balanced dietary regime compared to teenagers between 13 and 18 years of age. The author emphasized that the adolescent age favors the development of abnormal eating habits, which is a consequence of improperly balanced diabetes [21].

In the studies by Mehta *et al.* a special role was attached to the level of knowledge of patients with type 1 diabetes. The authors emphasized that adolescents with type 1 diabetes misinterpret products called healthy. The main problem of this group of patients was a mistaken perception of the limitations of carbohydrate intake. Unfortunately, they were replaced by excessive consumption of protein and fat products. The authors paid special attention to the fact that an excessive fat supply does not cause an increase in postprandial glycemia levels, however contributes to overweight, insulin resistance and lipid metabolism disorders [22].

The studies by Joanna Sadowska and Katarzyna Kaldonska pay particular attention to the insufficient intake of minerals and vitamins by teenagers in their diet, which are necessary for proper growth and development. Scientific research presented by the above mentioned authors proved that the lack or low content of water-soluble vitamins in the diet contributes to disorders of carbohydrate metabolism and the formation of skin lesions. In their analysis, the authors have proven that various dietary deficiencies, despite a properly balanced diet, may be the cause of increased diabetes symptoms and numerous accompanying changes [23].

Subsequent studies of Gilbertson's syndrome in a group of Australian teenagers with type 1 diabetes also confirm that consumption of too much monosaccharides affects higher lipid levels, increased BMI and HbA_{1c} [24].

The results of the above mentioned publications demonstrate similar conclusions to the assumptions presented in this publication. The main nutritional mistakes of patients with type 1 diabetes are the excess of monosaccharides from sweets and sugary drinks, too high energy density of food due to the improper technological processing for meal preparation or choosing highly processed food.

However, it should be stressed that there is also a group of patients who are struggling with nutritional problems called diabulimia [25]. It has been observed that often too much focus on a restrictive diet and maintaining proper body weight, especially in a group of teenagers, can lead to nutritional disorders [26].

On the other hand, there is no difference in dietary habits between healthy male adolescent and teenager with type 1 diabetes. In both groups, eating habits need to be changed. Identical nutritional mistakes are observed, such as: lack of breakfast, deficiency of lean dairy products, vegetables and fruit, whole grains or fish consumption. Instead, there is an excess of highly processed food. Unfortunately, peers and the mass media has the greatest influence on the occurrence of bad eating habits [27].

Conclusions

In conclusion, despite frequent nutritional education regarding the beneficial effect of proper nutrition on glycemic control and prevention of diabetic complications, the nutritional habits of male adolescents differ from those of proper nutrition. Addi-

tionally, it should be noted that despite the proper results of the body composition analysis, it has been observed that even in those patients the problem with an erroneously balanced diet, long breaks between meals and lack of regular physical activity adversely affect the metabolic balance.

References

1. Chiang JL, Maahs DM, Garvey KC, et al. Type 1 Diabetes in Children and Adolescents: A Position Statement by the American Diabetes Association. *Diabetes Care* 2018; 41: 2026–2044. doi: 10.2337/dci18-0023
2. Jarosz-Chobot P, Polańska J, Szadkowska A, et al. Rapid increase in the incidence of type 1 diabetes in Polish children from 1989 to 2004, and predictions for 2010 to 2025. *Diabetologia* 2011; 54: 508–515. doi: 10.1007/s00125-010-1993-4
3. Sandhya Rani K, Kumar Bhadada S. Medical Nutrition Therapy in Type 1 Diabetes Mellitus. *Indian J Endocrinol Metab* 2017; 21: 649–651. doi: 10.4103/ijem.IJEM_539_17
4. Pringle J, Doi L, Jindal-Snape D, et al. Adolescents and health-related behaviour: using a framework to develop interventions to support positive behaviours. *Pilot Feasibility Stud* 2018; 4: 69. doi: 10.1186/s40814-018-0259-7
5. Clinical recommendations for the management of patients with diabetes 2019. Statement of the Polish Diabetological Society. *Diabetol Practical* 2019; 4: 1–94.
6. Jarosz M, Rychlik E, Stós K, et al. Nutrition standards for the Polish population. Ed. Food and Nutrition Institute, Warszawa 2017.
7. Nielsen JV, Gando C, Joensson E, et al. Low carbohydrate diet in type 1 diabetes, long-term improvement and adherence: A clinical audit. *Diabetol Metab Syndr* 2012; 4: 23. doi: 10.1186/1758-5996-4-23
8. Turton JL, Raab R, Rooney KB. Low-carbohydrate diets for type 1 diabetes mellitus: A systematic review. *PLoS One* 2018; 13: e0194987. doi: 10.1371/journal.pone.0194987
9. Seckold R, Fisher E, Bock M, et al. The ups and downs of low-carbohydrate diets in the management of Type 1 diabetes: a review of clinical outcomes. *Diabet Med* 2019; 36: 326–334. doi: 10.1111/dme.13845
10. Jarosz M. Pyramid of Healthy Nutrition for Children and Physical Activity of Children and Adolescents. *IŻŻ* 2019.
11. Mańkiewicz-Żurawska I, Jarosz-Chobot P. Nutrition of children and adolescents with type 1 diabetes in the recommendations of the Mediterranean diet. 2019; 25: 74–80. doi: 10.5114/pedm.2019.85817
12. Craig ME, Hattersley A, Donaghue KC. Definition, epidemiology and classification of diabetes in children and adolescents. *Pediatr Diabetes* 2009; 10: 3–12. doi: 10.1111/j.1399-5448.2009.00568.x
13. Sandberg J, Björck I, Nilsson A. Effects of whole grain rye, with and without resistant starch type 2 supplementation, on glucose tolerance, gut hormones, inflammation and appetite regulation in an 11–14.5 hour perspective; a randomized controlled study in healthy subjects. *Nutr J* 2017; 16: 25. doi: 10.1186/s12937-017-0246-5
14. Gonzalez MC, Correia MITD, Heymsfield SB. A requiem for BMI in the clinical setting. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2017; 20: 314–321. doi: 10.1097/MCO.0000000000000395
15. Aparecida Vieira S, Queiroz Ribeiro A, Feliciano Pereira P, et al. Waist – to – height ratio index or the prediction of overweight in children. *Rev Paul Pediatr* 2018; 36: 52–58. doi: 10.1590/1984-0462/2018;36;1:00002
16. Moore LM, Fals AM, Jennelle PJ, et al. Analysis of Pediatric Waist to Hip Ratio Relationship to Metabolic Syndrome Markers. *J Pediatr Health Care* 2015; 29: 319–324. doi: 10.1016/j.pedhc.2014.12.003
17. Górnicka M, Frąckiewicz J, Anyżewska A, et al. Vegetables and fruits in preschool meals. *Probl Hig Epidemiol* 2016; 97: 76–80.
18. Mańkiewicz-Żurawska I, Jarosz-Chobot P. Nutrition of children and adolescents with type 1 diabetes in the recommendations of the Mediterranean diet. *Pediatr Endocrinol Diabetes Metab* 2019; 25: 74–80. doi: 10.5114/pedm.2019.85817
19. Patton SR. Adherence to Diet in Youth with Type 1 Diabetes. *J Am Diet Assoc* 2011; 111: 550–555. doi: 10.1016/j.jada.2011.01.016
20. Race Mackey E, O'Brecht L, Holmes CS, et al. Teens with Type 1 Diabetes: How Does Their Nutrition Measure Up? *J Diabetes Res* 2018; 5094569. doi: 10.1155/2018/5094569
21. Pieszko-Klejnowska M, Myśliwiec M, Łysiak-Szydłowska W. Wstępna ocena poprawności sposobu odżywiania dzieci z cukrzycą typu 1. *Diabetologia Praktyczna* 2006; 7: 143–149.
22. Mehta SN, Haynie DL, Higgins LA, et al. Emphasis on carbohydrates may negatively influence dietary patterns in youth with type 1 diabetes. *Diabetes Care* 2009; 32: 2174–2176. doi: 10.2337/dc09-1302
23. Sadowska J, Kałdońska K. Assessment of diet and nutritional status of children suffering from type 1 diabetes. *Bromat Chem Toksykol* 2009; 2: 137–146.
24. Gilbertson HR, Reed K, Clark S, et al. An audit of the dietary intake of Australian children with type 1 diabetes. *Nutr Diabetes* 2018; 8: doi: 10.1038/s41387-018-0021-5
25. Meissner T, Wolf J, Kersting M, et al. Carbohydrate intake in relation to BMI, HbA1c and lipid profile in children and adolescents with type 1 diabetes. *Clin Nutr* 2014; 33: 75–78. doi: 10.1016/j.clnu.2013.03.017
26. Colton P, Olmsted M, Daneman D, et al. Disturbed eating behavior and eating disorders in preteen and early teenage girls with type 1 diabetes: a case-controlled study. *Diabetes Care* 2004; 27: 1654–1659. doi: 10.2337/diacare.27.7.1654
27. Ryciak-Myszkowska J, Harton A, Lange E, et al. Nutritional Behaviors of Polish Adolescents: Results of the Wise Nutrition – Healthy Generation Project. *Nutrients* 2019; 11: 1592. doi: 10.3390/nu11071592

3. Oświadczenia współautorów o wkładzie pracy w powstanie artykułów naukowych wchodzących w skład spójnego tematycznie cyklu artykułów naukowych pt. *Wpływ zmian nawyków żywieniowych na poziom wyrównania metabolicznego cukrzycy typu 1 u dzieci i młodzieży.*

Gdańsk, dnia 17.02.2023

mgr Agnieszka Lejk

OŚWIADCZENIE

Jako współautor prac pt. *Reduced Carbohydrate Diet Influence on Postprandial Glycemia-Results of a Short, CGM-Based, Interventional Study in Adolescents with Type 1 Diabetes* i *Effect of Nutritional Habits on the Glycemic Response to Different Carbohydrate Diet in Children with Type 1 Diabetes Mellitus* oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie prac w formie publikacji to: projektowanie badań, organizacja badań, metodologia badań, gromadzenie danych, wykonanie eksperymentu, pisanie artykułu, zebranie piśmiennictwa.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie w/w prac przez mgr Agnieszkę Lejk jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. prac wykazuje indywidualny wkład mgr Agnieszki Lejk przy opracowywaniu koncepcji, wykonywaniu części eksperymentalnej, opracowaniu i interpretacji wyników tej pracy.

Agnieszka Lejk
(podpis współautora)

Gdańsk, dnia...2-2-2023

mgr Jędrzej Chrzanowski

OŚWIADCZENIE

Jako współautor prac pt. *Reduced Carbohydrate Diet Influence on Postprandial Glycemia - Results of a Short, CGM-Based, Interventional Study in Adolescents with Type 1 Diabetes i Effect of Nutritional Habits on the Glycemic Response to Different Carbohydrate Diet in Children with Type 1 Diabetes Mellitus* oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie prac w formie publikacji to: metodologia badań, analiza statystyczna, pisanie artykułu, zebranie piśmiennictwa.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie w/w prac przez mgr Agnieszkę Lejk jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. prac wykazuje indywidualny wkład mgr Agnieszki Lejk przy opracowywaniu koncepcji, wykonywaniu części eksperymentalnej, opracowaniu i interpretacji wyników tej pracy.


.....
(podpis współautora)

Gdańsk, dnia 06.02.2023

lek. Adrianna Cieślak

OŚWIADCZENIE

Jako współautor prac pt. *Reduced Carbohydrate Diet Influence on Postprandial Glycemia-Results of a Short, CGM-Based, Interventional Study in Adolescents with Type 1 Diabetes i Effect of Nutritional Habits on the Glycemic Response to Different Carbohydrate Diet in Children with Type 1 Diabetes Mellitus* oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie prac w formie publikacji to: metodologia badań, analiza statystyczna, pisanie artykułu, zebranie piśmiennictwa.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie w/w prac przez mgr Agnieszkę Lejk jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. prac wykazuje indywidualny wkład mgr Agnieszki Lejk przy opracowywaniu koncepcji, wykonywaniu części eksperymentalnej, opracowaniu i interpretacji wyników tej pracy.


.....
(podpis współautora)

Gdańsk, dnia 03.02.2023.....

prof. dr hab. n med. Wojciech Fendler

OŚWIADCZENIE

Jako współautor prac pt. *Reduced Carbohydrate Diet Influence on Postprandial Glycemia-Results of a Short, CGM-Based, Interventional Study in Adolescents with Type 1 Diabetes i Effect of Nutritional Habits on the Glycemic Response to Different Carbohydrate Diet in Children with Type 1 Diabetes Mellitus* oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie prac w formie publikacji to: metodologia badań, analiza danych, nadzór merytoryczny.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie w/w prac przez mgr Agnieszkę Lejk jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. prac wykazuje indywidualny wkład mgr Agnieszki Lejk przy opracowywaniu koncepcji, wykonywaniu części eksperymentalnej, opracowaniu i interpretacji wyników tej pracy.

Elektronicznie
podpisany przez
Wojciech Fendler
Data: 2023.02.03
12:51:52 +01'00"
(podpis współautora)

Gdańsk, dnia 20.02.2023 r.

prof. dr hab. n. med. Małgorzata Myśliwiec

OŚWIADCZENIE

Jako współautor prac pt. *Reduced Carbohydrate Diet Influence on Postprandial Glycemia-Results of a Short, CGM-Based, Interventional Study in Adolescents with Type 1 Diabetes i Effect of Nutritional Habits on the Glycemic Response to Different Carbohydrate Diet in Children with Type 1 Diabetes Mellitus* oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie prac w formie publikacji to: projektowanie badań, metodologia badań, nadzór merytoryczny.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie w/w prac przez mgr Agnieszkę Lejk jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. prac wykazuje indywidualny wkład mgr Agnieszki Lejk przy opracowywaniu koncepcji, wykonywaniu części eksperymentalnej, opracowaniu i interpretacji wyników tej pracy.

KIEROWNIK
Kliniki Pediatrii, Diabetologii i Endokrynologii
* Uniwersyteckie Centrum Kliniczne


Prof. dr hab. n. med. Małgorzata Myśliwiec

.....
(podpis współautora)

Gdańsk, dnia 07.02.2023 r.

dr Artur Myśliwiec

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. *Assessment of the diet of male adolescents suffering from type 1 diabetes* oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji to: projektowanie badań, organizacja badań, analiza danych, gromadzenie danych, wykonanie eksperymentu, pisanie artykułu, zebranie piśmiennictwa.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie w/w pracy przez mgr Agnieszkę Lejk jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. pracy wykazuje indywidualny wkład mgr Agnieszki Lejk przy opracowywaniu koncepcji, wykonywaniu części eksperymentalnej, opracowaniu i interpretacji wyników tej pracy.


.....
(podpis współautora)

Gdańsk, dnia 17.02.2023

mgr Agnieszka Lejk

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. *Assessment of the diet of male adolescents suffering from type 1 diabetes* oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji to: organizacja badań pod względem dietetycznym, pisanie artykułu.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie w/w prac przez mgr Agnieszkę Lejk jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. pracy wykazuje indywidualny wkład mgr Agnieszki Lejk przy opracowywaniu koncepcji, wykonywaniu części eksperymentalnej, opracowaniu i interpretacji wyników tej pracy.

Agnieszka Lejk
.....
(podpis współautora)

Gdańsk, dnia 06.02.2023 r.

dr n med. Maria Skalska

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. *Assessment of the diet of male adolescents suffering from type 1 diabetes* oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji to: analiza danych.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie w/w pracy przez mgr Agnieszkę Lejk jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopiśmie naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. pracy wykazuje indywidualny wkład mgr Agnieszki Lejk przy opracowywaniu koncepcji, wykonywaniu części eksperymentalnej, opracowaniu i interpretacji wyników tej pracy.



(podpis współautora)

Gdańsk, dnia 01.02.23r.

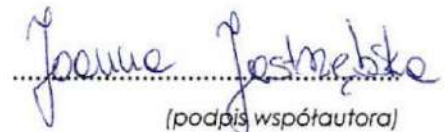
mgr Joanna Jastrzębska

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. *Assessment of the diet of male adolescents suffering from type 1 diabetes* oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji to zebranie piśmiennictwa.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie w/w pracy przez mgr Agnieszkę Lejk jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopiśmie naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. pracy wykazuje indywidualny wkład mgr Agnieszki Lejk przy opracowywaniu koncepcji, wykonywaniu części eksperymentalnej, opracowaniu i interpretacji wyników tej pracy.


.....
(podpis współautora)

Gdańsk, dnia 7.02.2023

lek. Beata Sztangierska

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. *Assessment of the diet of male adolescents suffering from type 1 diabetes* oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji to wykonanie eksperymentu.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie w/w pracy przez mgr Agnieszkę Lejk jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. pracy wykazuje indywidualny wkład mgr Agnieszki Lejk przy opracowywaniu koncepcji, wykonywaniu części eksperymentalnej, opracowaniu i interpretacji wyników tej pracy.

Beata Sztangierska
specjalista pediatry
diabetologii, endokrynologii
endokrynolog i diabetolog
1052455
[podpis]
(podpis współautora)

Gdańsk, dnia...05.02.2023r

prof. dr hab. Zbigniew Jastrzębski

OŚWIADCZENIE

Jako współautor pracy pt. *Assessment of the diet of male adolescents suffering from type 1 diabetes* oświadczam, iż mój własny wkład merytoryczny w przygotowanie, przeprowadzenie i opracowanie badań oraz przedstawienie pracy w formie publikacji to nadzór merytoryczny.

Jednocześnie wyrażam zgodę na przedłożenie w/w pracy przez mgr Agnieszkę Lejk jako część rozprawy doktorskiej w formie spójnego tematycznie zbioru artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych.

Oświadczam, iż samodzielna i możliwa do wyodrębnienia część ww. pracy wykazuje indywidualny wkład mgr Agnieszki Lejk przy opracowywaniu koncepcji, wykonywaniu części eksperymentalnej, opracowaniu i interpretacji wyników tej pracy.


.....
(podpis współautora)

4. Podsumowanie w języku angielskim cyklu prac pt.

Wpływ zmian nawyków żywieniowych na poziom wyrównania metabolicznego cukrzycy typu 1 u dzieci i młodzieży.

Summary

Before the popularization of personal insulin pumps with the continuous glucose monitoring system among children and adolescents, little attention was paid to the quality and quantity of carbohydrates and the related proper eating habits. Currently, based on the data obtained from CGM, we can see how a given meal, its volume and the selection of appropriate food products affect postprandial glycemia. In the recommendations of each diabetic community, apart from insulin therapy and physical exercise, the role of proper nutrition as part of the treatment of type 1 diabetes is emphasized.

However, despite the popularization of personal insulin pumps and continuous glucose monitoring, the introduction of healthy eating habits is still a problem in the population of pediatric patients. Changing the current eating habits is a problem if patients previously consumed a large amount of simple sugars, with a small consumption of vegetables, fruits or wholegrain products.

It is very important to introduce guidelines considering the amount of carbohydrates consumed and to emphasize the consequences of too little consumption on the child's development or maintaining proper postprandial glycaemia. Optimization of insulin doses, adequate supply of macronutrients and the introduction of regular physical activity significantly affect the avoidance of glycemic fluctuations, increase the TIR and reduce glycemic variability.

In the currently available publications, there is no position on whether it is worth introducing or avoiding diets with limited amounts of carbohydrates. Therefore, in our work we wanted to prove whether the introduction of various dietary interventions with modification of macronutrients has an impact on better metabolic control in children and adolescents with type 1 diabetes.

The publications included in this doctoral dissertation were based on a study that consisted in introducing a diet with a reduction of carbohydrates to 30% of the daily energy supply and a normal carbohydrate diet at the level of 50% of the calories supply.

The aim of the first publication was to determine the impact of eating habits on glycemic control when introducing two dietary interventions: with carbohydrate restriction to 30% of total daily energy supply and with optimal carbohydrate intake at the level of 50% of daily energy supply using a continuous glucose monitoring system. The aim of the second study was to investigate how a diet with a carbohydrate restriction of up to 30% and a diet with a

normal carbohydrate content of 50% affects the variability of postprandial glycemia in children and adolescents with type 1 diabetes. patients with type 1 diabetes and comparing their eating habits to generally accepted norms of proper nutrition.

The added value in the above studies was the use of continuous glycemic monitoring to assess postprandial glycemia variability and parameters such as: time in the target range (TIR) or glycemic variability index (CV).

The first work was to prove whether patients with type 1 diabetes who consume less carbohydrates are better metabolically balanced. Thus, despite the limited time of observation of the introduced diets, our research confirmed that proper nutrition and an individual approach to the patient's diet result in better metabolic control. However, given that this is the first study to suggest that dietary patterns may influence adaptation to a low-carbohydrate diet, further research is needed before making definitive recommendations for an optimal nutritional program for children with type 1 diabetes.

In the second publication, we pointed out that although a diet with carbohydrate restriction to 30% of the total daily energy supply provides better postprandial glycemia, due to the higher content of protein and fat in the meal, it requires additional attention from the dietitian, diabetologist and the patient himself . Unfortunately, a significant limitation of our study was the use of only a simple bolus for the carbohydrate content of a given meal, which may have limited utility in a diet with a reduced supply of carbohydrates to 30% of the total daily energy supply due to the increased content of fats and proteins in meals. Despite optimal insulin therapy, increased meal size and fat and protein content were factors influencing the postprandial glycemic response (PPGR).

In our last paper, we wanted to show that, despite conducting nutritional education about the beneficial effect of proper nutrition on glycemic control and the prevention of metabolic complications in patients with type 1 diabetes, the eating habits of teenagers deviate from the generally accepted norms of proper nutrition. In addition, it is observed that an incorrectly balanced menu, long breaks between meals and lack of regular physical activity adversely affect the metabolic balance of patients.

In all published publications, attention was drawn to the benefits of an individual approach to the diet, depending on previous eating habits. After our research, we can conclude that proper nutrition with optimal doses of insulin and physical activity is a therapeutic element in patients with type 1 diabetes