# METABOLIZM WĘGLOWODANÓW

(podsumowanie lekcji)

***kurs „Żywienie człowieka – wprowadzenie do dietetyki”***

*Szkoła Medycyny Naturalnej*

Marta Pyrchała-Zarzycka

**ASTRO SALUS EDUCATION LTD**

W przypadku węglowodanów istnieje wiele procesów, które są zaangażowane w ich rozpad i syntezę. Jednakże duża część tych procesów nie jest charakterystyczna tylko dla węglowodanów. Na przykład glukogeneza dotyczy też białek, gdyż aminokwasy są jednym z substratów potrzebnych do wytwarzania glukozy.

**Procesy**:

- **Glikogeneza** – synteza glikogenu,
- **Glikogenoliza** – rozpad glikogenu,
- **Glukoneogeneza** – synteza glukozy ze źródeł niewęglowodanowych,
- **Glikoliza** – rozpad glukozy do pirogronianu,
- **Reakcje przejścia** – przekształcenie pirogronianu do acetylu CoA,
- **Cykl kwasu cytrynowego** – kwas trikarboksylowy (TCA), cykl Krebsa – acetyl CoA łączy się z oksalooctanem, aby stworzyć cytrynian; w tym cyklu produkowane są: ATP, NADH, FADH,
- **Łańcuch transportu elektronów** – oksydacja fosforylacyjna, produkcja ATP z NADH i $FADH_2$.

**Metabolizm monosacharydów na przykładzie galaktozy i fruktozy**

W wątrobie węglowodany te są fosforylowane, czyli dodawany do nich zostaje fosfor.

Następnie galaktozo-1-fosforan zostaje przekształcany w glukozo-1-fosforan, a potem w glukozo-6-fosforan. Ten ostatni związek w zależności od stanu energetycznego człowieka może być użyty do glikolizy (rozpadu glukozy w celu produkcji energii) lub glikogenezy (produkcji glikogenu, by zachować energię na później).

W przeciwieństwie do galaktozy, fruktoza nie może być użyta do produkcji fosforyzowanej glukozy. Zamiast tego fruktozo-1-fosfran jest rozszczepiany w wątrobie, w wyniku czego powstaje gliceraldehydo-3-fosforan. Jest to związek pośredni w glikolizie.

W przypadku hepatocytów (komórek wątroby) i miocytów (komórek mięśniowych) glukozo-6-fosforan może być użyty do glikolizy lub glikogenezy. Jeśli osoba jest w

stanie anabolicznym, wtedy związek tez zostanie użyty do magazynowania energii, jeśli w katabolicznym, do jej uwalniania.

**Glikogen** jest formą przechowywania glukozy spotykaną u zwierząt (w tym u ludzi – biologicznie człowiek należy do królestwa zwierząt).
Kiedy człowiek jest w stanie anabolicznym (na przykład podczas spożywania posiłku), wtedy większość glukozo-6-fosforanu jest używana w miocytach i hepatocytach do utworzenia glikogenu w celu przechowania energii na później.
Glikogen jest głównie przechowywany w mięśniach i wątrobie.
Proces syntetyzowania glikogenu z glukozy nazywamy **glikogenezą**.
Proces uwalniania glukozy z glikogenu to **glikogenoliza**.

**Glikoliza ma trzy fazy:**

- Etap inwestycji energetycznych,
- Podział glukozy,
- Etap zbierania energii.

W kroku pierwszym dwa ATP są dodawane do sześciowęglowej cząsteczki.
W fazie drugiej sześciowęglowa cząsteczka zostaje rozbita na dwie trzywęglowe.
Ostatni etap polega na wytworzeniu z każdej trzywęglowej cząstki po dwa ATP i po jednym NADH. W ostatnim etapie glikolizy w sumie są produkowane cztery ATP i dwa NADH.

**Adenozynotrifosforan** (ATP) dostarcza energii w celu użycia jej do aktywnego wychwytu i transportu związków. ATP przechowuje energię w wysokoenergetycznych wiązaniach fosforowych.

**Reakcja przejścia** jest reakcją przejściową pomiędzy glikolizą, a cyklem kwasu cytrynowego. W reakcji tej trójwęglowy pirogronian przekształcany jest w dwuwęglowy acetyl CoA. Podczas tego przekształcenia produkowany jest także tlenek węgla (CO) i NADH.
Dwuwęglowy acetyl CoA zaś powstaje poprzez połączeniu acetylu z koenzymem A (CoA).
A więc w reakcji przejścia z jednej cząsteczki glukozy powstają: dwie cząsteczki acetylu CoA, dwie cząsteczki dwutlenku węgla ($CO_2$) i dwie NADH.
Acetylokoenzym A (acetyl CoA) jest głównym punktem metabolizmu. Związek ten może być użyty na różne sposoby.

W warunkach tlenowych (aerobicznych) i w stanie katabolizmu zachodzi potrzeba energii. Wówczas acetylokoenzym A wejdzie w skład procesu zwanego cyklem kwasu cytrynowego (cyklem Krebsa, cyklem TCA).
Cykl ten rozpoczyna się poprzez połączenie dwuwęglowego acetylokoenzymu A z czterowęglowym oksanooctanem, w wyniku czego powstaje sześciowęglowy kwas cytrynowy.

Wynikiem jednego cyklu są:

- 2 $CO_2$,
- 3 NADH,
- 1 $FADH_2$,
- 1 GTP, który jest przekształcany w ATP.

Dwa atomy węgla, które są wydzielane w postaci dwóch cząsteczek dwutlenku węgla pochodzą z acetylokoenzymu A.

Z jednej cząsteczki glukozy są produkowane dwie cząsteczki acetylokoenzymu A, a więc w dwóch cyklach z jednej cząsteczki glukozy powstają:

- 4 $CO_2$,
- 6 NADH,
- 2 $FADH_2$,
- 2 GTP, który jest przekształcany w ATP.

W wyniku procesu glikolizy, reakcji przejścia i cyklu cytrynowego powstaje wiele cząsteczek NADH i $FADH_2$.
W warunkach tlenowych te molekuły będą wchodzić w łańcuch transportu elektronów w celu wytworzenia energii poprzez oksydacyjną fosforylację.

Łańcuch transportu elektronów znajduje się w wewnętrznej błonie mitochondrium.
W łańcuchu transportu elektronów jest przenoszonych wiele elektronów. Elektrony te pochodzą z NADH i $FADH_2$. Przechodzą one w dół łańcucha i ostatecznie produkowany jest ATP.
Łańcuch transportu elektronów pobiera energię z elektronów, które znajdują się w cząsteczkach NADH i $FADH_2$ w celu przepompowania protonów ($H^+$) do przestrzeni międzybłonowej. Proces ten znany jest jako **fosforylacja oksydacyjna**. W ten sposób powstaje gradient protonowy pomiędzy przestrzenią międzybłonową (wyżej), a macierzą mitochondrium (niżej).
W łańcuchu transportu elektronów są produkowane 2,5 NADH/ATP i 1,5 ATP/ $FADH_2$ .
A więc z jednej cząsteczki glukozy otrzymujemy:

- Glikoliza: 2 NADH,
- Reakcja przejścia: 2 NADH,
- Cykl kwasu cytrynowego: 6 NADH, 2 $FADH_2$.

W sumie 10 NADH i 2 $FADH_2$.
Pomnóż tę liczbę przez ilość ATP przypadającą na NADH i $FADH_2$:
10 NADH * 2,5 ATP/NADH = 25 ATP,
2 $FADH_2$ * 1,5 ATP/ $FADH_2$ = 3 ATP
Razem 25 ATP + 3 ATP = 28 ATP.

Poniższa tabela obrazuje ilość cząsteczek ATP, które powstają z jednej cząsteczki glukozy.

| Szlak metaboliczny | Ilość cząsteczek wygenerowanego ATP |
|---|---|
| Glikoliza | 2 |
| Cykl kwasu cytrynowego | 2 |
| Łańcuch transportu elektronów | 28 |
| Razem | 32 |

Warunki pozbawione tlenu nazywane są **anaerobicznymi** (beztlenowymi). W tego typu warunkach pirogronian jest przekształcany w mleczan w cytoplazmie komórki.

Gdy brak tlenu, ETC zostaje wsparty elektronami i nie może ich przyjąć od NADH ani $FADH_2$. Zjawisko to wywołuje problem w procesie glikolizy, gdyż NAD jest potrzebny do przyjęcia elektronów.
Bez działającego łańcucha transportu elektronów wszystkie cząsteczki NAD muszą zostać zredukowane do NADH, a glikoliza nie może być kontynuowana w celu wytworzenia ATP z glukozy.
Jednakże istnieje obejście, które umożliwia regenerację NAD. Jest to przekształcenie pirogronianu (kwasu pirogronowego) w mleczan (kwas mlekowy).

Oddychanie beztlenowe produkuje tylko 2 ATP. Jest to niezwykle mało w porównaniu z metabolizmem w warunkach tlenowych, którego efektem jest powstanie 32 cząsteczek ATP.

Największym producentem kwasu mlekowego są mięśnie. Mleczan jest w nich produkowany w tak zwanym **cyklu Corich**, czyli cyklu kwasu mlekowego. Następnie mleczan ten jest transportowany do wątroby.
W wątrobie glukoza jest regenerowana w procesie zwanym **glukoneogenezą** i następnie transportowana do mięśni, aby wziąć udział w kolejnym cyklu Corich.

**Marta Pyrchała-Zarzycka**
Astro Salus Education Ltd
*Naturalnie do zdrowia, mądrze do rozwoju*

kursy@astrosalus.pl

**STRONY INTERNETOWE**

www.astrosalus.pl
www.astrosalus.com
http://kosmetyka-fitness.pl
www.magia-zycia.com.pl
www.sukces-biznes.pl
www.edukacja-domowa.pl

**BLOGI**

http://astrosalus.pl/medycyna-naturalna/
http://astrosalus.pl/reiki/
http://kosmetyka-fitness.pl/ona/
http://magia-zycia.com.pl/duchowosc/
http://sukces-biznes.pl/sukces/
www.edukacja-domowa.pl/rozwoj-dzieci