

Diabetes mellitus



1

Definice DM

- DM je skupina metabolických onemocnění charakterizovaných **hyperglykemií** v důsledku **nedostatečného účinku inzulínu**
 - porucha sekrece inzulínu (absolutní nebo relativní)
 - porucha citlivosti k inzulínu
- extrémně vysoká hladina glykémie může akutně ohrozit člověka na životě
 - hyperosmolarita, dehydratace, porucha pH
- chronická hyperglykemie** vede ke vzniku **pozdních projevů** (= diab. komplikací)
 - sítnice
 - ledviny
 - nervy
 - velké cévy

2

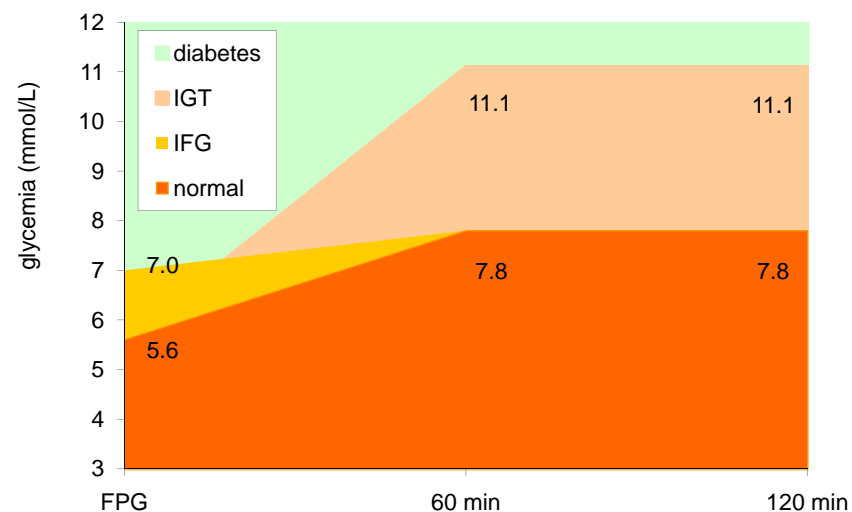
Diagnostika DM, PGT a HGN

- pro diabetes svědčí
 - (1) klasické **symptomy** diabetu + **náhodná glykemie** ≥ 11.1 mmol/l (vše žilní plazma)
 - náhodná = kdykoliv během dne bez ohledu na poslední jídlo
 - symptomy zejm. polyurie a polydipsie
 - (2) **FPG** (fasting plasma glucose) ≥ 7.0 mmol/l
 - nalačno = min. 8 h od posledního jídla
 - (3) **2-h PPG** (postprandial glucose) ≥ 11.1 mmol/l během **oGTT**
 - oGTT: odběr FPG, pak vypítí 75g glukózy rozpuštěné ve vodě, stanovení glykemie za 60 a 120 minut
- porušená glukózová tolerance (PGT, angl. IGT)
 - vyloučení < 7.8 mmol/l
 - 2-h PPG ≥ 7.8 - < 11.1 mmol/l během oGTT
- porušená (hraniční) glykemie nalačno (HGN, angl. IFG)
 - diabetes vyloučen při FPG ≤ 5.6 mmol/l
 - FPG ≥ 5.6 - < 7 mmol/l



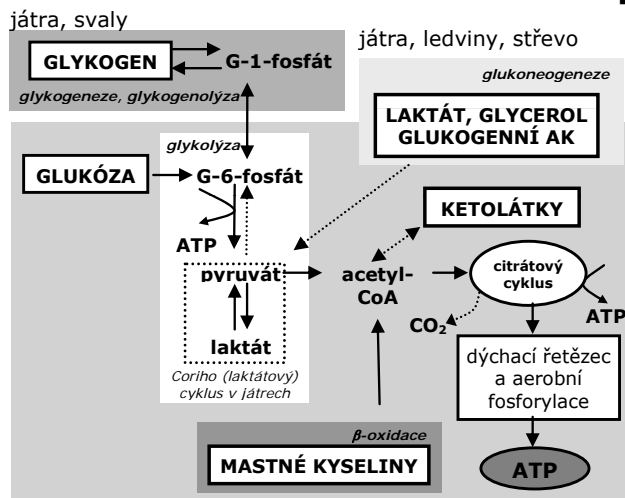
3

Interpretace glykemie



4

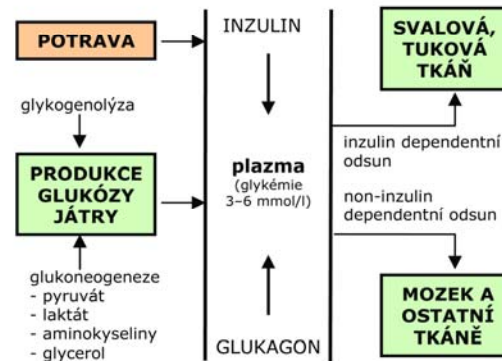
Vzájemné přeměny látek v intermediárním metabolismu



- zopakovat!!!
- intermediární metabolismus, citrátový cyklus, ox. fosforylace
- glukoneogeneze není prostým obrácením reakcí glykolýzy
- min. glykolýza je nezbytná pro metabolismus MK (a AK)
- cyklus glukózy a MK (Randlův) ve svalu
- lipolýza
- ketogeneze

5

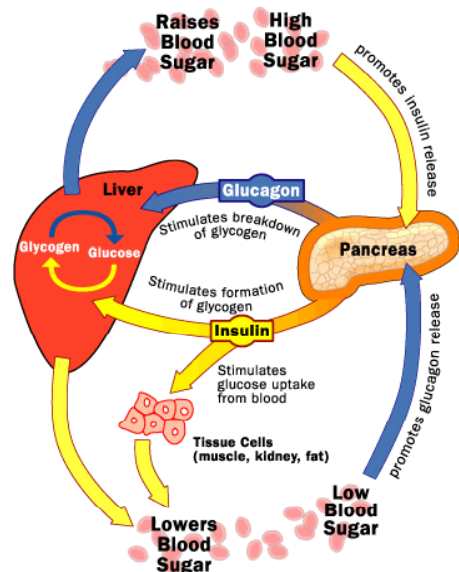
Regulace glykemie



- hormonální
 - hlavní
 - **inzulin**
 - **glukagon**
 - modulující
 - **glukokortikoidy**
 - **adrenalin**
 - **růstový hormon**
- nervová
 - sympatikus
 - parasympatikus

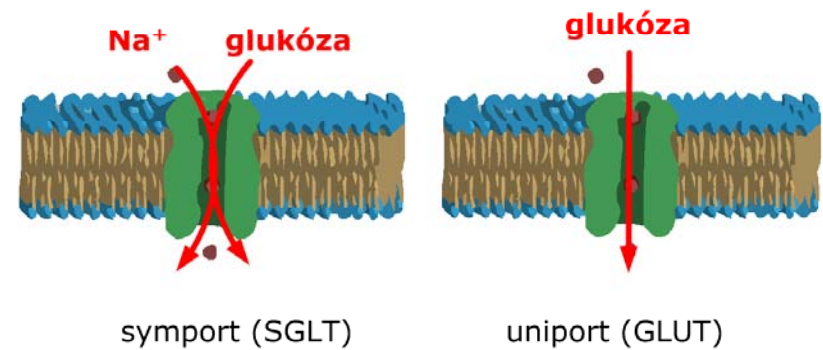
6

Kontraregulace inzulin/glukagon



7

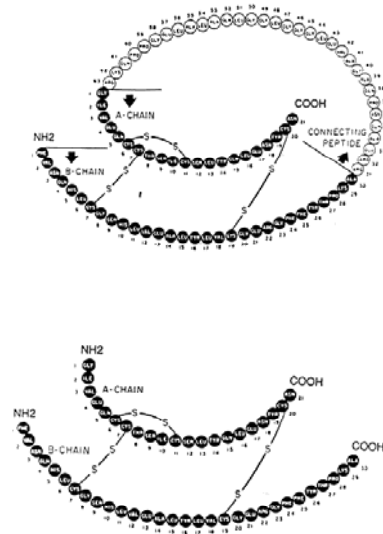
Otázka – jak se dostává glukóza do buňky ???



8

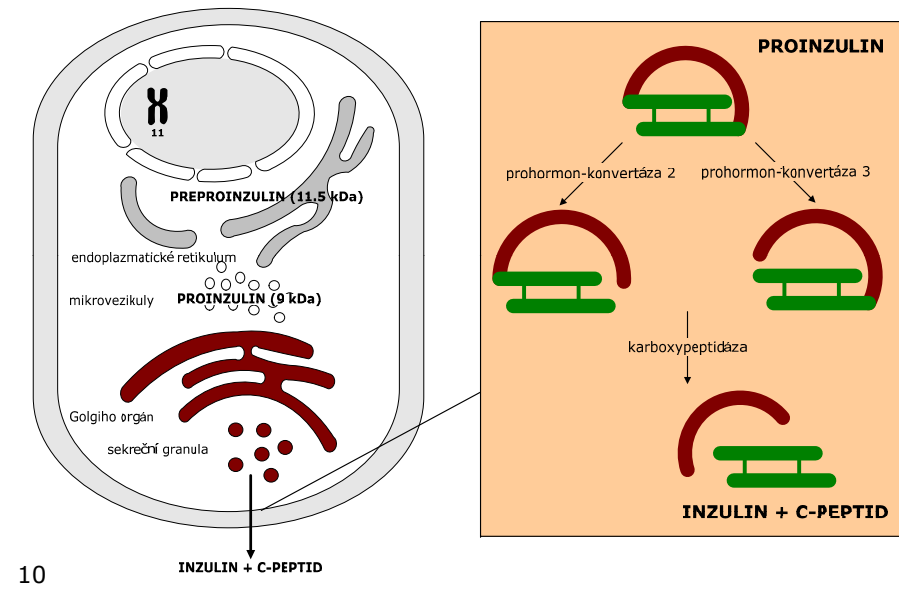
Insulin

- exocytózou z B-bb LO do portální krve
 - 50% inzulínu (ale ne C-peptidu!!) odbouráno při prvním průchodu játry
- celková denní produkce u zdravého člověka ~20-40 U
 - ~1/2 tvoří **bazální** (postabsorptivní) sekrece = pulzativní (5-15 min)
 - zásadní pro "vyláčení" rychlosti produkce glukózy v játrech (glukoneogeneze) podle okamžité glykemie
 - při poruše hyperglykemie nalačno
 - ~1/2 **stimulovaná** (postprandiální) = bifazická
 - časná fáze (hotový inzulín v sekrečních granulech)
 - pozdí fáze (packing & syntéza de novo)
 - nutná pro norální odsun Glc do inzulín-dependenčních tkání
- stimulace sekrece
 - <<<glukóza
 - <<aminokyseliny
 - <GIT hormony (inkretiny)
 - FFA
 - variabilní a pouze v součinnosti s Glc! CAVE inzulín funguje rovněž jako periferní mediátor sytosti, dosažení sytosti po mastných jídlech je opožděno



9

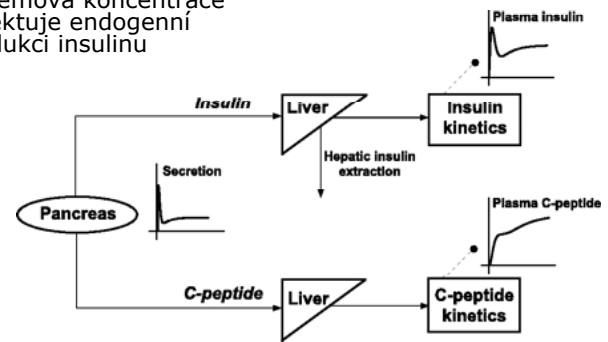
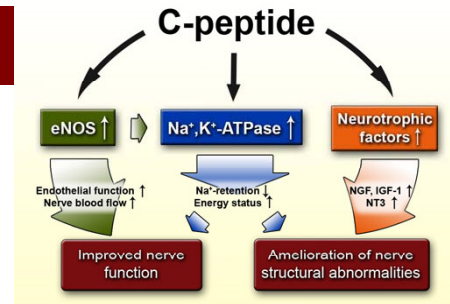
Syntéza inzulínu



10

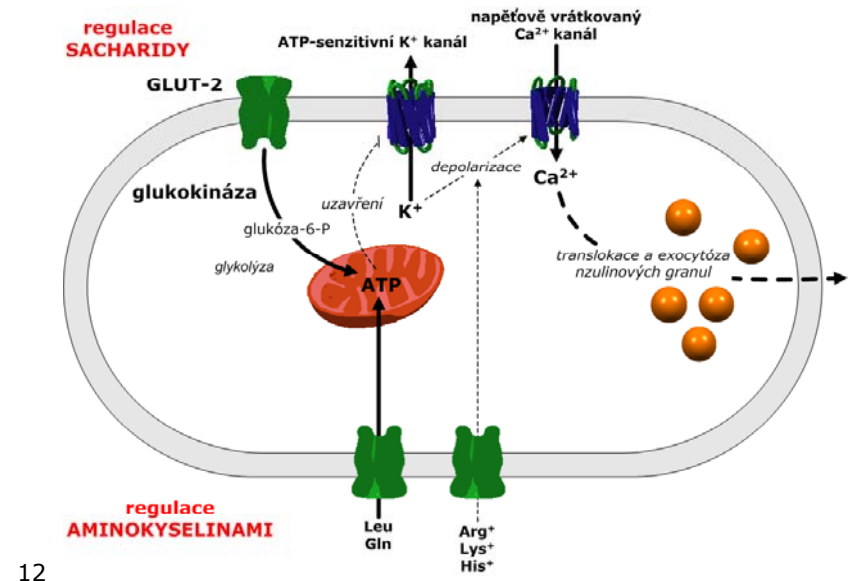
C peptid

- aktivita
 - určité benefiční vaskulární efekty (oxid dusnatý)
- zejm. diagnostické využití
 - ekvimolární inzulínu
 - na rozdíl od inzulínu C-peptid není degradován z portální krve játry
 - systémová koncentrace reflektuje endogenní produkci inzulínu



11

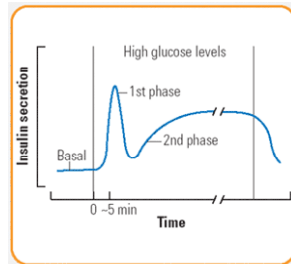
Vztah glykemie - sekrece inzulínu



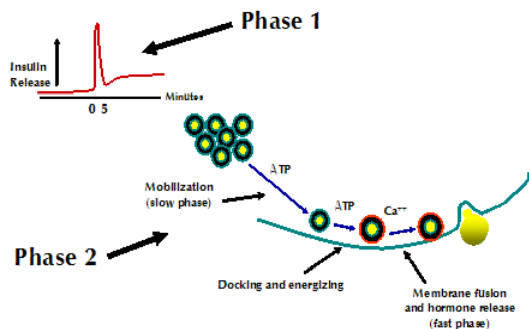
12

Stimulovaná sekrece inzulínu

- bifazičnost sekrece inzulínu není zřejmě in vivo tak jednoznačná, záleží hlavně na rychlosti a absolutní velikosti vzestupu glykemie
 - 1. fáze - Glc/ K_{ATP} -dependentní
 - 2. fáze - ostatní sekretagoga

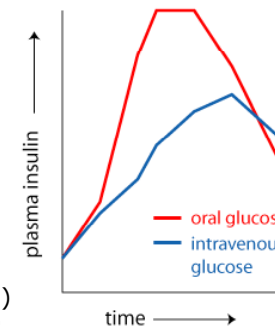


Insulin Secretion is Biphasic

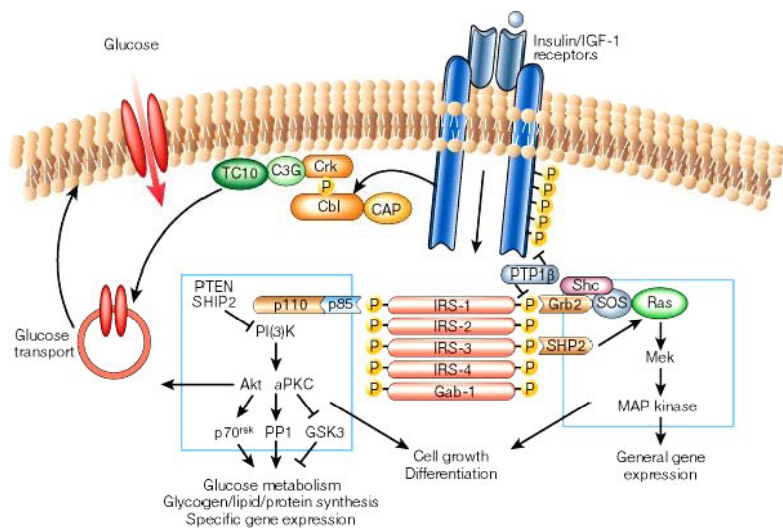


Inkretiny – enteroinzulární osa

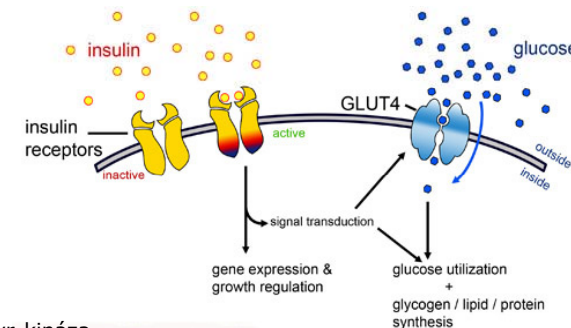
- hormon GIT zvyšující sekreci inzulínu ještě **před vzestupem glykemie**
 - sekrece inzulínu po orální Glc >> po i.v. Glc
 - při hypoglykémii – pokud je pacient ještě při vědomí – podat Glc per os
- “dopředný” regulační mechanismus – anticipace vzestupu Glc
- 2 hl. inkretinové hormony produkované endokr. bb. tenk. střeva
 - GIP (glucose-dependent insulinotropic peptide či gastric inhibitory peptide)
 - GLP-1 (glucagon-like peptide-1)
- léčba inkretinovými analogy u T2DM (opožděný efekt Glc stimulace na sekreci Inz)
 - GLP-1 analog - exenatid (GLP-receptor agonista)
 - DPP-4 inhibitory (dipeptyl peptidáza 4 - proteolytická degradace inkretinů) - gliptiny
- zlepšení Glc-stimulované sekrece inzulínu po jídle
- suprese postprandiálního uvolnění glukagonu
- zpomalení vyprazdňování žaludku
- protekce β -bb. před apoptózou



Inzulínový receptor



Efekt inzulínu v i-dependentních tkáních



- inzulínový receptor je Tyr-kináza
 - signální transdukce spočívá v sérii fosforylací intracelulárních proteinů, aktivaci dalších kináz a konečně fosforylaci přísl. enzymů
- hlavní efekty
 - (1) “uptake” glukózy
 - translokace GLUT4
 - (2) metabolický: IRS → PI-3-K → PDK → PKB (=Akt)
 - → GSK (glykogen-syntáza-kináza) → glykogensyntéza
 - → cAMP fosfodiesteráza → inhibice lipolýzy
 -
 - (3) ↑ gen. exprese (mitogenní)
 - MAPK → transkripční faktory

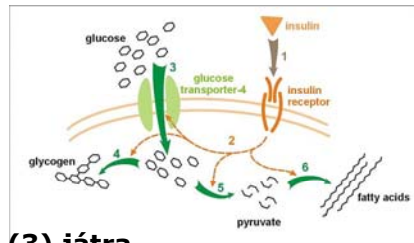
Z hlediska působení inzulínu rozeznáváme tkáně:

inzulin-non-senzitivní

- všechny tkáně (vč. svalů, tuku a jater)
 - vychytávání glukózy je realizováno facilitovanou difúzí pomocí **GLUT1, 2, 3, 5, ...** permanentně lokalizovaných v membráně
 - transport glukózy tak závisí na
 - ☛ koncentračním spádu
 - ☛ typu a hustotě transportérů
 - ☛ intenzitě glykolýzy

inzulin-senzitivní

- (1) svaly a (2) tuk. tkáň
 - v obou integrace **GLUT4** do cytoplazmatické membrány
 - facilitovaná difúze glukózy a následná tvorba zásob



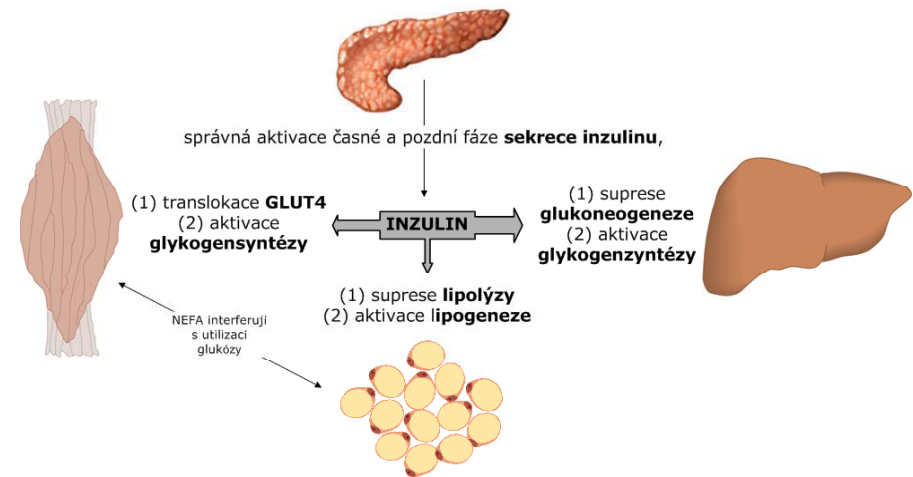
(3) játra

metabolické účinky

- ☛ stimulace glykogenolýzy
- ☛ inhibice glukoneogeneze

17

Souhrn hlavních metabolických efektů inzulínu



18

Patofyziologie DM

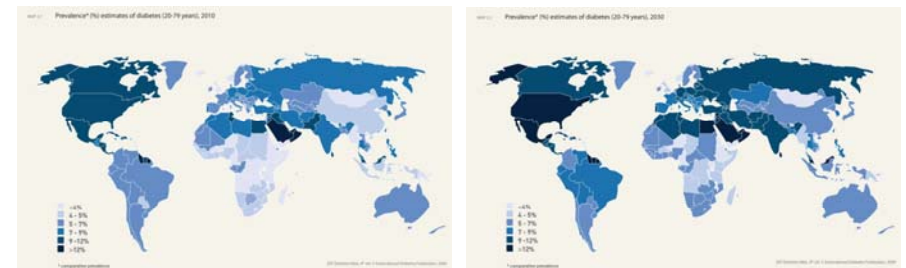
- DM je heterogenní syndrom charakterizovaný **hyperglykemií** způsobenou funkční **deficiencí účinku inzulínu**, a to buď v důsledku
 - jeho úplného chybění = absolutního deficitu
 - **destrukce β buněk Langerhansových ostrůvků**
 - relativního deficitu
 - abnormální molekula inzulínu (mutace v inzulínovém genu)
 - defektní přeměna proinzulínu na inzulín
 - cirkulující protilátky proti inzulínu nebo receptoru
 - **sekundární selhání β buněk Langerhansových ostrůvků**
 - inzulínová rezistence v cílové tkáni
 - ☛ receptorový defekt (mutace v genu)
 - ☛ **post-receptorová porucha**
- prevalence DM
 - v celkové populaci cca 5%
 - nad 65 let je to již >20%
 - roste celosvětově

19

Prevalence (%) diabetu (populace 20-79 let)

2010 – 4.3 bil. (ze 7 bil.) lidí
285 mil. diabetiků
0.75 mil. diabetiků v ČR

2030 – 5.6 bil. (z 8.5 bil.) lidí
438 mil. diabetiků
1.2 mil. diabetiků v ČR



20

[IDF Diabetes Atlas, 4th ed. ©International Diabetes Federation, 2009]

Klasifikace DM

1. Diabetes mellitus 1. typu (T1DM) ~5%

2. Diabetes mellitus 2. typu (T2DM) ~90%

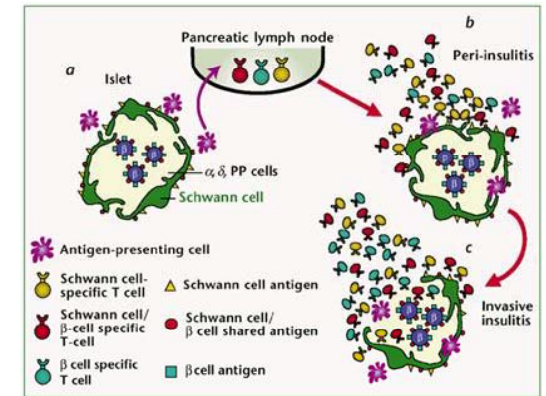
3. Jiné specifické typy:

- genetické defekty B-bb
 - monogenní DM typu MODY (1 - 6)
 - mutace mitochondriální DNA
- genetické defekty způsobující inzulínovou rezistenci
 - inzulínová rezistence typu A, leprechaunismus, Rabson-Mendenhalův syndrom, lipoatrofický DM
- nemoci exokrinního pankreatu
 - pankreatitida, tumor pankreatu, cystická fibróza, hemochromatóza
- endokrinopatie
 - Cushingův syndrom, akromegalie, feochromocytom, hypertyreóza aj.
- iatrogenní DM
- jiné genetické syndromy asociované s DM
 - Downův, Klinefelterův, Turnerův syndrom, ...

21 4. Gestační diabetes mellitus

T1DM (dříve IDDM)

- selektivní **autoimunitní destrukce** β -bb LO u **geneticky disponovaných** jedinců
 - chrom. 6 – HLA II. třídy
 - DR3-DQ2 a DR4-DQ8
 - chrom. 11 - gen pro inzulin
 - dělkový polymorfismus
 - v obou případech je důsledkem nedostatečná destrukce β -bb
 - v obou případech je důsledkem nedostatečná destrukce autoreaktivních T-lymfocytů v thymu a tedy **nedostatečné navození imunologické tolerance**
- cytotoxická autoimunita** (Th1) zprostředkovaná T-lymfocyty
 - časné stadium – zánět (insulitida), poté kompletní destrukce β -bb.
 - tvorí se také **protilátky** proti β buňkám (ICA, IAA, GAD) – jsou ale pouze markerem insulitidy (mají diagnostický význam)
 - častá asociace T1DM s jinými autoimunitami (celiakie, tyreopatie, Addisonův syndrom)



22

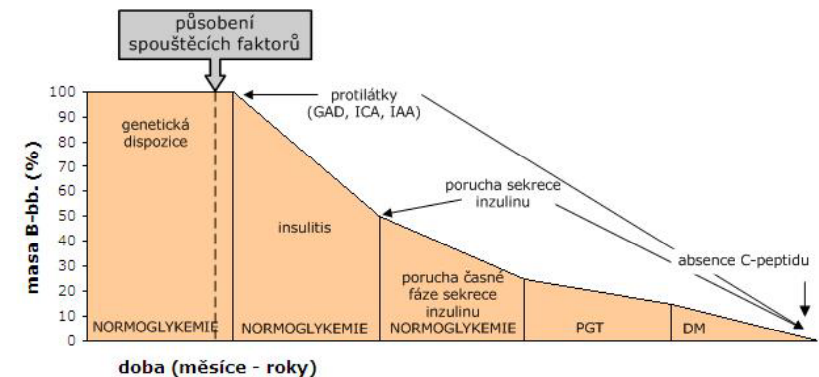
T1DM

- spouštěcí faktory** autoimunity
 - virová infekce
 - nejč. zarděnky, spalničky, coxsackie B, CMV, EBV, enteroviry, retroviry
 - mechanismus není jasný
 - cytolytické (⊗ sekvestrace antigenů)
 - vytvoření neoantigenů
 - molekulární mimikry nebo superantigeny
 - zevní faktory – epidemiologická evidence – nárůst meziroční incidence 3% příliš pro genet. změny
 - časné expozice cizorodým proteinům, zejm. proteiny kravského mléka (bovinní inzulin)
 - funguje také experimentálně u BB krys
 - ↓ vitamin D – důvod pro **severojižní gradient?**
 - toxiny (dieta, voda, bakterie)
 - gluten???
- dynamika
 - manifestace obvykle **v dětství**
 - v naprosté většině případů autoimunita dokončena, absolutní **závislost na exogenním inzulinu**



23

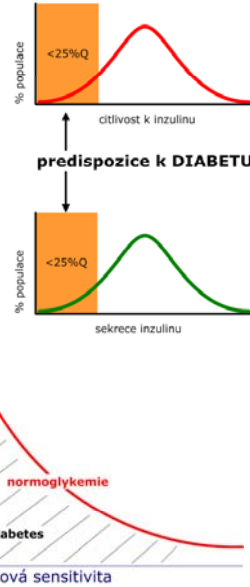
Dynamika T1DM



24

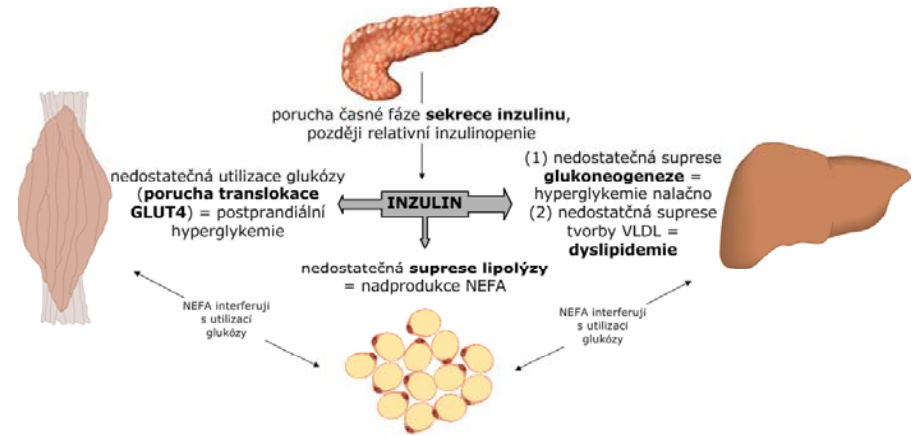
T2DM (dříve NIDDM)

- citlivost k inzulínu je spojitá veličina s interindividuální variabilitou, dá se testovat:
 - hyperinzulinemický euglykemický clamp
 - počítané indexy (na zákl. vztahu glykémie a inzulínie nalačno nebo při oGTT) – např. HOMA, QUICKI, ...
- základní patofyziologickým faktorem je nerovnováha mezi sekrecí a účinkem inzulínu
 - při manifestním T2DM je současně přítomná inzulinová rezistence a porucha sekrece inzulínu**
- co je první - "slepice" nebo "vejce" ???
 - inz. rezistence
 - vrozená složka – soubor "nevýhodných" genetických variant zejm. v genech kódujících součásti signální kaskády inz. receptoru (tzv. "strádatý genotyp")
 - získaná složka
 - kompetice glukózy a NEFA!!! (dieta)
 - efekt adipokínů z tukové tkáně (obezita)
 - ↓ mobilizace GLUT4 při fyzické inaktivitě
 - down-regulace inz. receptorů
 - inz. sekrece
 - vrozená složka
 - menší množství B-bb. (~20-40%)
 - porucha první fáze sekrece inzulínu (~80% redukce)
 - získaná složka
 - gluko- a lipotoxicita pro B-bb.
- komplexní nemoc se vším všudy
 - genetická dispozice
 - familiární agregace, neúplná penetrance, fenokopie, genetická heterogenita (lokusová i alelická), polygenní dědičnost
 - významný efekt faktorů zevního prostředí!!!
- manifestace ve stř. a vyšším věku
- 90% jedinců obezních – metabolický syndrom



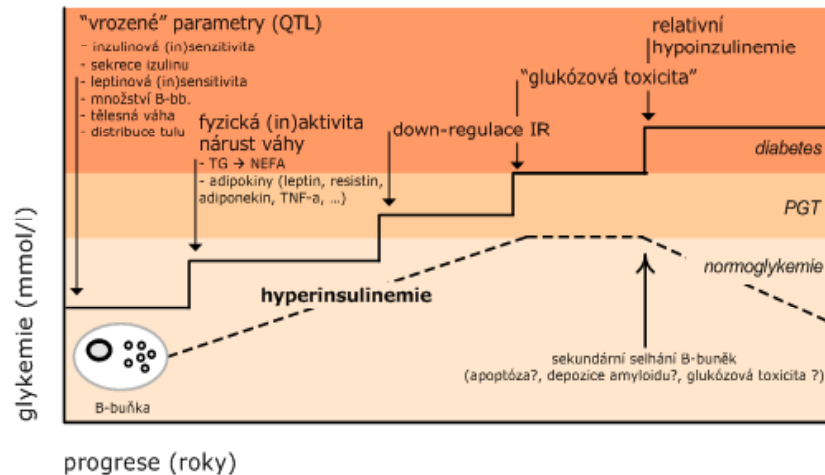
25

Patogeneze T2DM



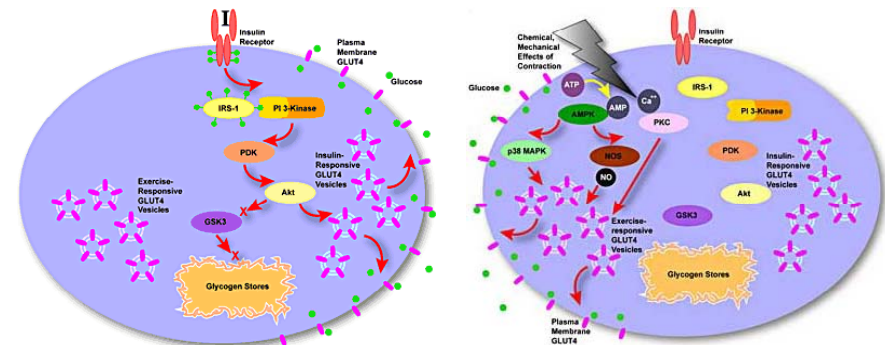
26

Dynamika T2DM



27

Inzulín- a "sport"-dependentní translokace GLUT4



- 2 intracelulární "pooly" GLUT4
 - inzulin-dependentní (viz kaskáda Inz-receptoru)
 - Ca²⁺ / NO / AMPK?-dependentní
 - tento mechanismus zodpovídá za zlepšení inzulinové senzitivity u fyzicky aktivních jedinců

28

Další typy DM

- **LADA** (Latent Autoimmune Diabetes in Adults) = **slow-onset T1DM**
 - diagnóza > 30 let věku, zpravidla mylně jako T2DM
 - zpočátku dobře kontrolovatelný dietou a PAD, nevede k diabetické ketoacidóze
 - postupně však závislost na inzulínu (měsíce - 1 rok)
 - pozitivní protilátky (autoimunita), nízký C-peptid
 - negativní rodinná anamnéza T2DM
- **MODY** (Maturity-onset diabetes of the young) – cca 5% T2DM
 - skupina **monogenních** diabetů s familiárním výskytem a dobře definovaným mendelistským způsobem dědičnosti (zpravidla AD), časnou manifestací (dětství, adolescence či časná dospělost) a bez vztahu k obezitě
 - cca 6 typů (MODY1-6)
 - patofyziologie; geneticky podmíněná **dysfunkce β-buněk** ale dlouhodobě měřitelný C-peptid bez známek autoimunity
 - dvě podskupiny
 - MODY v důsledku mutací v **glukokináze** (MODY2)
 - glukokináza = "glukózový senzor" (váže uvolňování a produkce inzulínu)
 - lehčí forma bez výrazného rizika pozdních komplikací
 - MODY v důsledku mutací v **transkripčních faktorech** (ostatních 5 typů)
 - těžké defekty β-buněk progresivně vedoucí k diabetu se závažnými pozdními následky
 - postižena glukózou stimulovaná tvorba a uvolnění inzulínu a proliferace a diferenciace β-buněk

MODY	lokus	gen	produkt	prim. defekt	závažnost	komplikace
1	20q	<i>HNF4A</i>	hepatocyte nuclear factor-4α	pankreas	vysoká	časté
2	7p	<i>GCK</i>	glukokináza	pancreas/játra	mírná	vzácné
3	12q	<i>TCF1 (HNF1A)</i>	hepatocyte nuclear factor-1α	pancreas/ledviny	vysoká	časté
4	13q	<i>IPF1</i>	insulin promoter factor-1	pancreas	vysoká	?
5	17q	<i>TCF2 (HNF4B)</i>	hepatocyte nuclear factor-1β	pancreas/ledviny	vysoká	renální
6	2q32	<i>NEUROD1</i>	NEUROD1	pankreas	vysoká	?

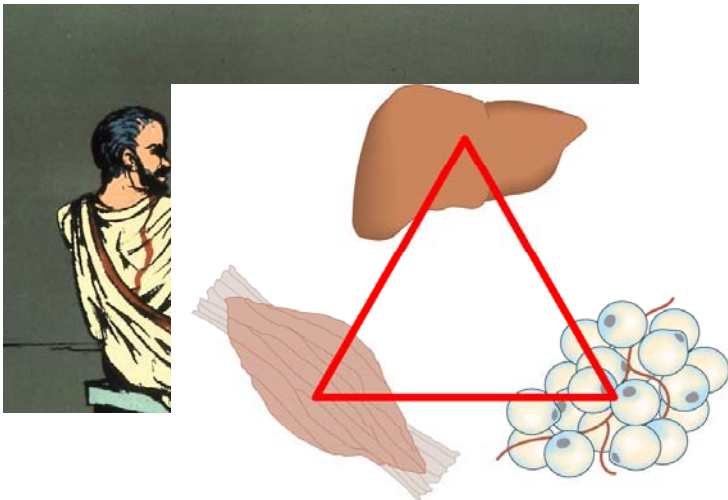
Shrnutí - základní charakteristiky T1DM, T2DM a MODY



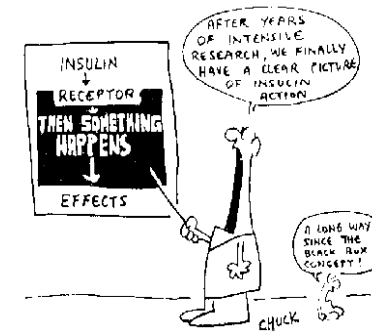
	T1DM	T2DM	MODY
Nástup	mládí (výjimečně v dospělosti LADA)	dospělost	mládí
Gen. predispozice	ano (oligogenní)	ano (polygenní)	ano (monogenní)
Klinická manifestace	často akutní	pozvolná či náhodné zjištění	pozvolná
Autoimunitní proces	ano	ne	ne
Inzulínová rezistence	ne	ano	ne
Závislost na inzulínu	ano	ne	ne
Spojení s obezitou	ne	ano	ne

30

Diabetický "triumvirát" ???



31



32

Akutní a pozdní komplikace diabetu



33

Otázka – jaký efekt má rostoucí hladina glukózy v plazmě ???

OSMOLARITA = 2 Na^+ + urea + glukóza

$$275 - 295 = 2 \times 140 + 2.5 + 5$$

$$> 300 = 2 \times 140 + 2.5 + 35$$

34

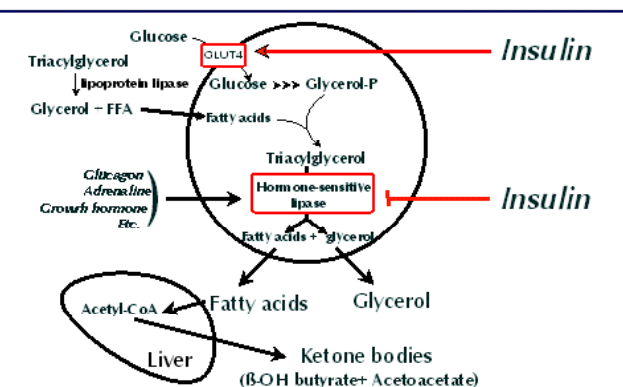
Klinický obraz manifestního DM

- důsledkem vzestupu **osmolarity** krve, **osmotické diurézy** a **dehydratace**
 - klasické příznaky
 - polyurie (nokturie)
 - žízeň
 - polydipsie
 - únavnost a malátnost
 - přechodné poruchy zrakové ostrosti
 - poruchy až ztráta vědomí
 - dech páchnoucí po acetonu
 - další příznaky
 - časté infekce močového ústrojí a kůže
 - zvýšená kazivost chrupu a parodontóza
- extrémní **hyperglykemie** ($>40 \text{ mmol/l}$, osmolalita $>350 \text{ mosmol/l}$)
 - **diabetická ketoacidóza**
 - hyperketonemie, metabolická acidóza a hyperglykemie
 - **hyperosmolární neketoacidotická hyperglykemie**
 - hyperglykemie, dehydratace a prerenální uremie bez výrazné ketoacidózy
 - **laktátová acidóza**
 - terapii biguanidy (typ perorálních antidiabetik)
 - přidruženými hypoxickými stavy (sepsa, šok, srdeční selhání)

35

Diabetická ketoacidóza

Insulin action in adipocytes and ketogenesis in liver



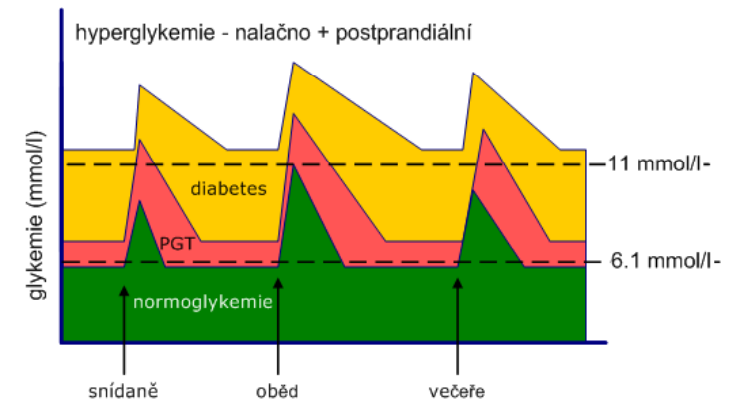
36

Pozdní projevy (komplikace)

- mikrovaskulární – specifické
 - diabetická retinopatie
 - diabetická nefropatie
 - diabetická neuropatie
 - senzorická, motorická, autonomní
- makrovaskulární – nespecifické
 - akcelerace nemoci velkých tepen
 - ICHS, ICHDK, COM
- kombinované
 - diabetická noha
- další
 - parodontitida, katarakta, glaukom, makulární edém

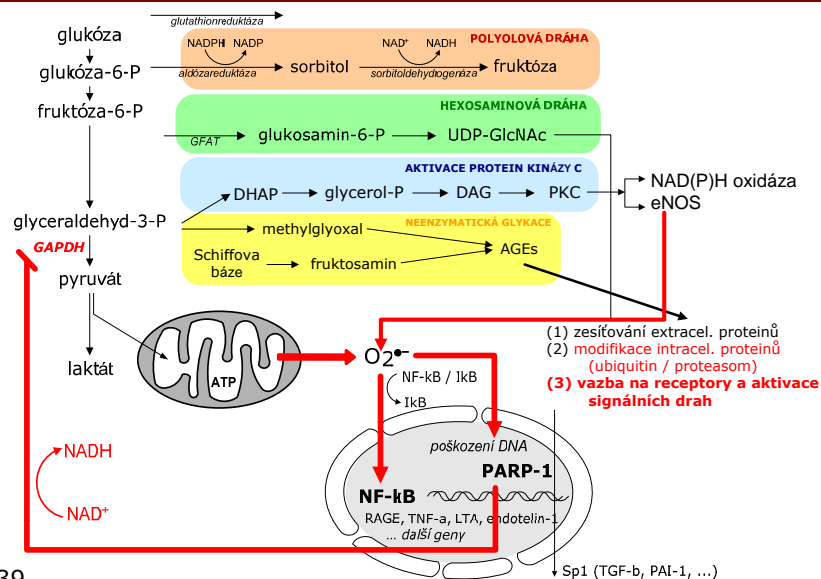
37

Chronická hyperglykemie



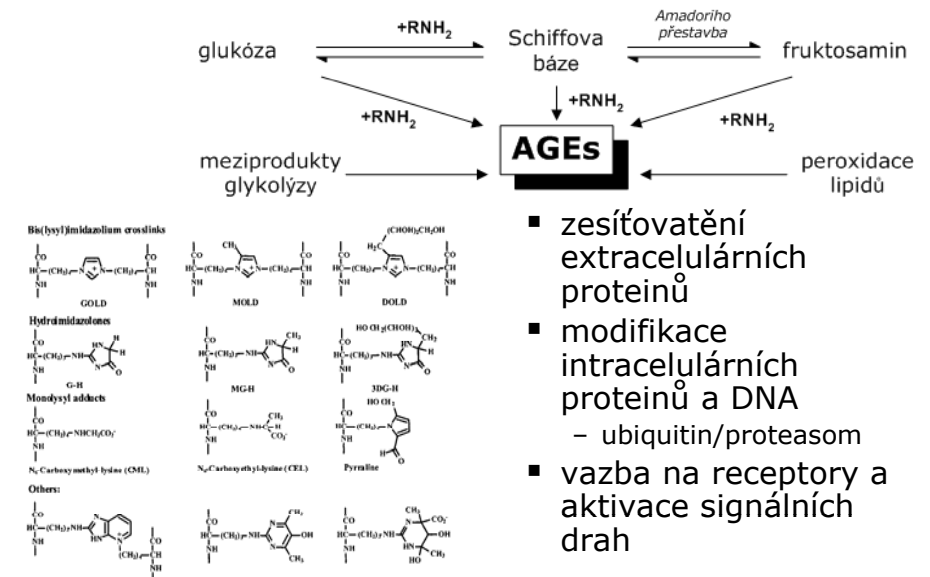
38

Patogeneze komplikací



39

Pokročilé produkty glykace (AGEs)



Maillardova reakce – AGEs v



- AGEs jsou podobné produktům Maillardovy reakce (MRP) vznikajícím při tepelné úpravě potravin
 - cukr + bílkovina
- Louis Camille Maillard (1878 - 1936)
 - popsal reakce probíhající při tepelné úpravě potravy ("browning"), která vede k tvorbě MRP (=AGEs)
 - ovlivňují chuťové vlastnosti, vzhled, vůni, životnost
 - biologické vlastnosti MRP
 - pozitivní – melanoidiny, polyfenoly
 - negativní – akrolein (karcinogen)



Kinetika AGEs v organismu

