



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

Biomechatronikai modellezés és szimuláció (BMEGEMIMMBM)

Emberi vér glükózsztváltozásának szimulációja

Készítette:

Sersli Ádám AV2Q9A 33%

Szűcs Máté András HIG2TY 33%

Szőke Kálmán Benjamin SLZ0UE 33%

Tartalomjegyzék

1. Cukorbetegségről általában	1
1.1. Cukorbetegség	1
1.2. A vércukorszint szabályozása	1
1.3. Fizikai aktivitás hatása a vércukorszintre	2
1.4. Elfogyasztott táplálékok hatása a vércukorszintre (Glikémiás index)	3
2. Cukorbetegség típusai	4
2.1. 1. típusú cukorbetegség (IDDM)	4
2.2. 2. típusú cukorbetegség (NIDDM)	4
3. Szövődmények	6
3.1. Heveny szövődmények	8
3.2. Idült szövődmények	8
4. Cukorbetegek kezelése	12
4.1. 1-es típusú diabétesz kezelése	12
4.2. 2-es típusú diabétesz kezelése	12
5. A modell leírása	13
6. Modell felépítése	14
6.1. Táplálkozás modul	14
6.1.1. Fizikai aktivitás modul	15
6.2. Modellezett emberi szervezet	16
6.3. Modell felépítése, 1. típusú cukorbeteg	16
6.4. Inszulin készítmények cukorbetegek számára	17
6.4.1. Gyorshatású inzulin (hagyományos emberi inzulin)	17
6.4.2. Ultragyors-hatású inzulin (Aspart, lispro, glulisine)	17
6.4.3. Középhatású inzulin (NPH, isofán inzulin)	18
6.4.4. Hosszúhatású inzulin (glargin)	18
7. Szimuláció	20
7.1. Program használata	20
7.2. A szimuláció működése	24
7.3. A szimuláció fejlesztési lehetőségei	27

Ábrák jegyzéke

1.	Hasnyálmirigy felépítése, Langerhans-szigetek	1
2.	A testtömegindex és a 2-es típusú diabétesz kockázata	5
3.	Nefropátia	9
4.	Diabéteszes láb	11
5.	Vércukorszintet befolyásoló tényezők modellezése	14
6.	Egészséges szervezet	14
7.	Modellezett szervezet almoduljai	16
8.	1. típusú cukorbeteg modellje	17
9.	Különböző típusú inzulinok hatásgörbéi	19
10.	Valós méréseken alapuló inzulinszint görbe	20
11.	Szimuláció grafikus felülete	21
12.	24 órás összesített étel jelleggörbe	22
13.	24 órás összesített inzulin jelleggörbe	22
14.	24 órás összesített sport jelleggörbe	23
15.	Étel jelleggörbe, Type 1: $\sigma = 0.2$, Type 2: $\sigma = 0.3$, Type 3: $\sigma = 0.6$	24
16.	Inzulin jelleggörbe, Type 1: $\sigma = 1.5$, Type 2: $\sigma = 2.2$, Type 3: $\sigma = 5$	25
17.	Sport jelleggörbe	25
18.	A szimuláció eredménye	26

Táblázatok jegyzéke

1.	Vércukorszintek összehasonlítása	2
2.	A két típusú cukorbetegség összehasonlítása	6
3.	Különböző típusú inzulinkészítmények összehasonlítása	19

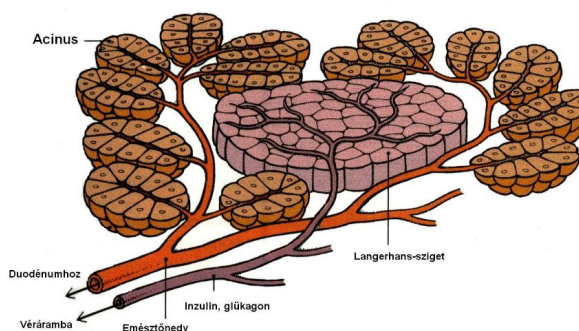
1. Cukorbetegségről általában

1.1. Cukorbetegség

A cukorbetegség (diabetes mellitus, röviden diabétesz) az egyik leggyakoribb anyagcsere-betegség, világszerte 347 millió ember szenved cukorbetegségben, évente 3,8 millió ember hal meg diabétesz következtében. A cukorbetegség a hormonbetegségek csoportjába tartozik, az inzulin nevű hormon hiánya, illetve a szervezet inzulinnal szembeni érzéketlensége (inzulinrezisztencia) okozza a betegséget, tehát a szervezet szénhidrát-anyagcséréje károsodik. A diabetes mellitus (tükrörfordításban: „mézédes átfolyás”) elnevezés a betegség két fő tünetére utal, a megnövekedett vizeletmennyiségre, illetve a vizelet cukortartalmának megemelkedésére. A vérben található nagyobb koncentrációjú cukor vízajtó hatású, ezért növekszik meg a vizeletmennyisége, napi akár 5-6 litert is elérheti. Az inzulin kulcsfontosságú szerepet tölt be a vércukorszintjének szabályozásában.

1.2. A vércukorszint szabályozása

A táplálkozás során a szervezetbe kerülő különböző szénhidrát tartalmú táplálékokból az összetett szénhidrátokat glükózzra (szőlőcukorra) bontja a szervezet. Tehát a szervezetbe érkező különböző emészthető szénhidrátok élettani hatásai hasonlóak, az egyes szénhidrátok közötti különbség a lebontási idejükben található. A hasnyálmirigyben található Langerhans-szigetekben béta sejtek inzulint termelnek és bocsátanak a vérkeringésbe. Az inzulin kötődni tud az egyes sejtekhez az inzulinreceptorokon keresztül, így képes megnyitni a sejtek sejtmembránját, ezáltal azok képesek lesznek a vérben található glükóz felvételére. Tehát az inzulinnak vércukorszint csökkentő hatása van, minél több inzulin található a vérben annál több sejt képes felvenni a vérben található



1. ábra. Hasnyálmirigy felépítése, Langerhans-szigetek

létfenntartású energiaforrást, a cukrot. Fontos megjegyezni, hogy szervezetünkben különböző fajta sejtek találhatóak és nem mindegyik számára szükséges inzulin jelenléte a tápanyag felvételéhez, ilyen sejtek például a szívizom sejtjei. A vércukorszint szabályozásában a szervezet másik fő beavatkozó hormonja a glükagon, mely szintén a hasnyálmirigyben termelődik. Hatása ellentétes az inzulinéval, tehát a vércukorszintjét növeli. Hatását a májban fejt ki ahol folyamatosan glükoneogenezis (szőlőcukor-újraképzés) történik, a glükagon serkentő hatással van a cukortermelésére. Az inzu-

lin pedig gátló hatással van glükoneogenezisre, ezáltal is csökkentve a vércukorszintjét. Ezáltal képes a hasnyálmirigy nagyjából állandó értékeken: 4,5-5,5 mmol/liter tartani a szervezet mindenkori vércukorszintjét éhgyomri állapotban. A táplálkozás során, ha cukrot viszünk be a szervezetünkbe, akkor a vércukorszintje természetesen megemelkedik, de egészséges embereknél nem haladja meg a 7,8 mmol/liter értéket. **Hipoglikémiának** nevezik azt az állapotot, amikor vér cukorszintje a normális érték alá csökken, tehát túlságosan kevés cukor található a vérben. Az előző állapotnak az ellentéte a **Hiperglikémia**, amikor a normálisnál nagyobb a vér cukortartalma.

Vércukorszint	Cukoranyagcsere
Normális vércukorérték	
6,0 mmol/l alatt	Éhgyomri vércukorszint
7,8 mmol/l alatt	OGTT 120 perces érték
Emelkedett éhgyomri vércukorérték	
6,1-6,9 mmol/l	Éhgyomri vércukorszint
7,8 mmol/l alatt	OGTT 120 perces érték
Csökkent cukortolerancia	
7,0 mmol/l alatt	Éhgyomri vércukorszint
7,8-11,0 mmol/l	OGTT 120 perces érték
Cukorbetegség	
7,0 mmol/l vagy magasabb	Éhgyomri vércukorszint
11,1 mmol/l vagy magasabb	OGTT 120 perces érték

1. táblázat. Vércukorszintek összehasonlítása

A táblázatban szereplő OGTT rövidítés az Orális glükóz-tolerancia tesztet jelenti. Ez egy szabványosnak nevezhető vizsgálat cukorbetegség diagnosztizálása. A vizsgálat során az éhgyomorral érkező betegnek megméri a cukorszintjét, ez lesz az éhgyomri vércukorszintje. Ezek után 75g glükózt tartalmazó oldatot kell meginnia, majd 30 percenként vért vesznek tőle 2 órán keresztül. A táblázatban látható értékek alapján meghatározható, hogy a páciens milyen állapotban van.

1.3. Fizikai aktivitás hatása a vércukorszintre

A vérben található glükóz az elsősorú energiaforrás izomsejtjeink számára. Fizikai aktivitás hatására az izomsejtek nagyobb mennyiségű glükózt vesznek fel a vérből, mint amikor a test nyugalomban van. Tehát mozgás, fizikai munkavégzés hatására a vércukorszint

csökken. Továbbá rendszeres fizikai aktivitás hatására az izomsejtek inzulinérzékenysége is nő. Ez a véráramlás fokozódásával illetve a cukor izomsejtekbe történő gyorsabb beépülésével és felhasználásával magyarázható. Tehát a rendszeres fizikai edzés azon túl, hogy csökkenti a vércukor szintjét, kifejezetten kedvező hatással van a 2-es típusú cukorbetegre, akiknél csökkent az inzulin iránti érzékenység. A fokozottabb inzulinérzékenység az edzést, testmozgást követő 24-48 órán keresztül is fennállhat. További kedvező hatása a rendszeres mozgásnak, hogy nő az izomtömeg, ezáltal még nagyobb mennyiségű glükózt képes felvenni a vérből. A rendszeres testmozgás kedvező hatásai sajnos az 1-es típusú cukorbetegség esetén kevésbé, vagy egyáltalán nem érvényesülnek. Sőt a cukorbetegségnek ebben a típusában szenvedő betegeknek kifejezetten ügyelni kell, hogy intenzívebb testmozgás előtt gondoskodjanak arról, hogy megfelelő mennyiségű inzulint juttassanak be a szervezetükbe.

1.4. Elfogyasztott táplálékok hatása a vércukorszintre (Glikémiás index)

A különböző élelmiszerek vércukorszint emelő tulajdonságának jellemzésére szolgál az úgynevezett glikémiás index. Ez a viszonyszám, mely adott élelmiszer 1000 kJ-nyi energiataralommal rendelkező mennyiségének vércukor növelő képessége a szőlőcukorhoz viszonyítva. Minél alacsonyabb az index értéke, annál kisebb vércukorszint növekedéssel jár az adott élelmiszer elfogyasztása. Egy adott élelmiszer glikémiás indexe alapvetően a benne található szénhidrátok mennyiségétől és fajtájától függ, azonban az élelmiszer elkészítési módja is nagyban befolyásolja az értékét. Például a nyers burgonyának 60 körüli az indexe, de ha megfőzzük, 90 fölé emelkedik. Ennek a jelenségnek az a magyarázata, hogy főzéssel, sütéssel az élelmiszerekben található összetett szénhidrátokat átalakítjuk, lebontjuk egyszerűbb szénhidrátokra. Az egyszerű szénhidrátokat (mono-, oligoszacharidok), melyek csak egy-két cukormolekulából állnak, a szervezet gyorsan le tudja bontani és ezáltal gyorsan felszívódnak a vérbe, emiatt jelentős a vércukorszint növelő hatásuk. Az összetett szénhidrátok (poliszacharidok), bonyolultabb szerkezetű óriásmolekulák, emiatt az emésztőrendszernek több időre van szükséges a lebontásukhoz, ezért lassabban jutnak be a véráramba, lassabban növelik a vércukorszintjét. Cukorbeteg számára nagyon fontos, hogy milyen glikémiás indexű élelmiszert fogyasztanak, az aktuális vércukorszintjüknek megfelelően. Nehézséget okoz, hogy az alapvető élelmiszerek glikémiás indexét szokták táblázatokban megadni, azonban a többfajta élelmiszerből álló, különféle elkészítési móddal rendelkező készételek értékei nem ismertek, csak nagyságrendi becsléseket lehet tenni.

2. Cukorbetegség típusai

2.1. 1. típusú cukorbetegség (IDDM)

Az inzulinfüggő cukorbetegség (Insulin-Dependent Diabetes Mellitus), más nevén 1-es típusú cukorbetegség egy autoimmun betegség. Az immunrendszer idegenként azonosítja be a szervezet bizonyos sejtjeit, ebben az esetben a hasnyálmirigyben található inzulin-termelő béta sejtet. Emiatt a szervezet immunrendszere elpusztítja ezeket a sejtet, emiatt a beteg nem képes inzulint termelni, tehát teljesen inzulin hiányos állapot áll fenn. Emiatt az inzulint mesterségesen kell pótolnia, bejuttatnia a szervezetébe a betegnek. Az inzulint a bőr alá, a bőr alatti zsírrétegbe kell befecskendezni, szájon keresztül nem vehető be, mert a gyomorban lebomlik. A hatásuk időtartama alapján sorolják kategóriába a különböző inzulin készítményeket. Megjelenhet bármilyen életkorban, azonban jellemzően gyermekkorban, fiatal felnőttkorban jelentkeznek. A tünetek gyorsan alakulnak ki, gyakori a jelentős fogyás a betegség megállapítása előtt.

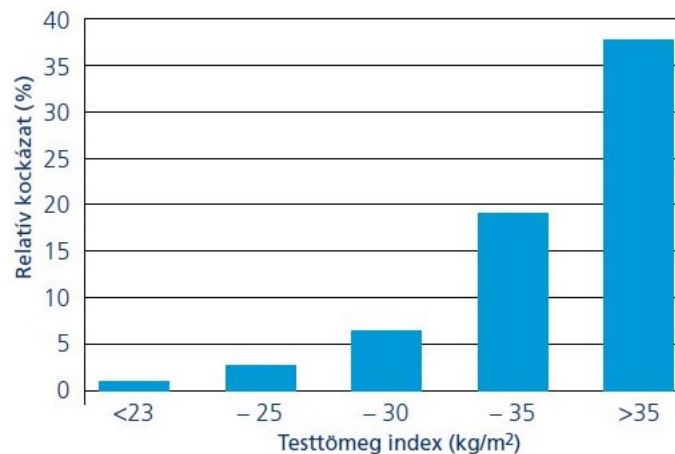
Az 1-es típusú diabetes kialakulásáért felelős tényezőket még nem sikerült egyértelműen meghatározni a kutatóknak. Alapvetően a vírusokat, és a genetikát teszik felelőssé ezért az autoimmun betegségért, de felgyeltek már a mérgező anyagok, az anyatejes táplálás hiánya, az éghajlat és az oxidatív stressz károsító hatására is.

A kutatók az elmúlt évtizedben egyértelműen kimutatták, hogy bizonyos gének mutációja közvetlenül befolyásolja a cukorbetegség kialakulását. A tudósok szerint a szervezet evés utáni hormonválaszáért, azaz az inzulintermelésért és ezzel a vércukorszint beállításáért a GIPRA-A jelű gén felel. Amennyiben ennek a génnek a mutációja van jelen a DNS állományban, akkor az evésre adott hormonválasz elmarad, így megemelkedik a vércukorszint. Fontos megjegyezni, hogy ez a gén csupán csak egy a több tíz olyan gén közül, melynek mutációja befolyásolja a vércukorszint alakulását.

2.2. 2. típusú cukorbetegség (NIDDM)

A világon a cukorbeteg 90%-a betegség ebben a típusában szenved. A nem inzulin cukorbetegség kialakulásában leginkább a helytelen életmódnak, a helytelen táplálkozásmódnak van szerepe. Elsősorban az elfogyasztott magas glikémiás indexű szénhidrát tartalmú élelmiszerek okozzák ezt a típusát a cukorbetegségnek. Minél magasabb a glikémiás indexe az elfogyasztott szénhidrátoknak annál gyorsabban szívódik fel a szervezetben. A gyorsan felszívódó szénhidrátok gyorsan cukorrá alakulnak és gyorsan növelik a vér cukorszintjét. Ahhoz, hogy a gyorsan emelkedő cukorszintet kordában tudja tartani a szervezet, gyorsan nagy mennyiségű inzulint kell a véráramba juttatni a hasnyálmirigynek. Az évek során a sok ilyen nagy inzulináram miatt a sejtek elkezdnek az inzulin ellenállni, kialakul az úgynevezett inzulinrezisztencia. A sejtek csak bizonyos mennyiségű cukrot tudnak felvenni a véráramból, egy bizonyos szint felett már nem képesek több cukor felvételére hiába van jelen a vérben nagy mennyiségű inzulin. A szervezet ekkor úgy érzékeli, hogy

még több inzulint kell a vérbe juttatni, hiszen a vércukorszint nem csökken. Ezek az extrém nagy inzulinszintek ellen alakul ki az inzulinrezisztencia a sejtekben. Tehát az előző típussal ellentétben, ebben az esetben tud inzulint termelni a beteg a szervezetében, azonban a sejtjei, már nem reagálnak az inzulinra. Emiatt a vércukorszint kritikusan megemelkedhet, amelynek rövidtávon is nagyon súlyos következményei, szövődményei lehetnek.



2. ábra. A testtömegindex és a 2-es típusú diabétesz kockázata

A tünetek a betegség kezdetén még alig érzékelhetőek, csak lassan alakulnak ki. Az inzulinrezisztencia szorosan kapcsolatban áll az elhízással, hiszen az elhízást is a magas glikokémiás indexű ételek okozzák, az ilyen típusú cukorbetegek 80%-a elhízott. A betegség jellemzően középkorú illetve idős embereknél alakul ki a leggyakrabban. Azonban a fiatalkori elhízás terjedésével a cukorbetegség ezen típusa is egyre inkább terjed ezekben a korosztályokban is.

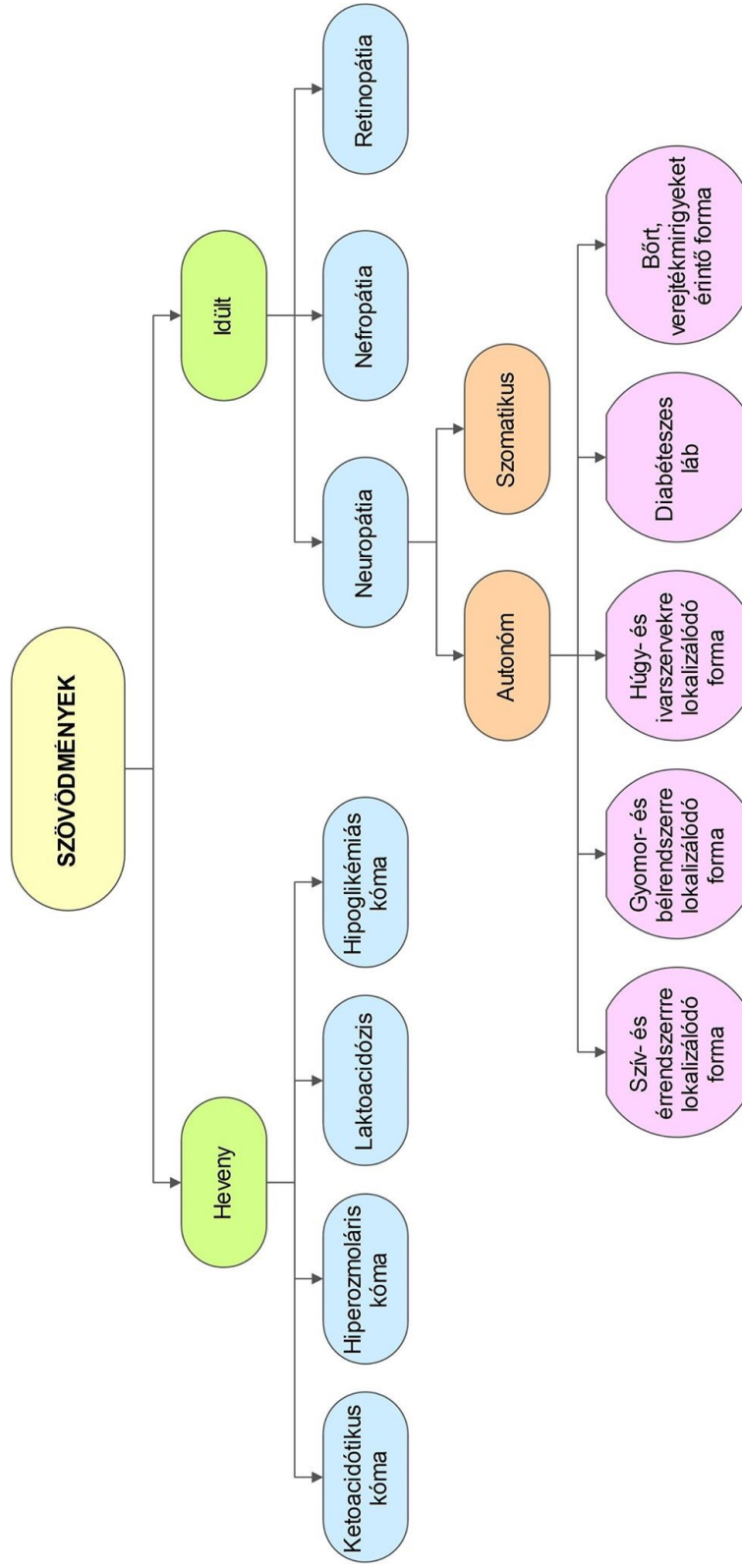
A fent leírtak alapján látható, hogy a kövérség és a 2-es típusú cukorbetegség kialakulása között szoros összefüggés van. A kiváltó okokat pontosan itt sem tudták meghatározni még, de azt megállapították, hogy a genetika itt is nagy szerepet játszik a kialakulásban. Ennek hátterében az alábbi logika áll. Mivel a kövérségre való hajlam sok esetben bizonyítottan örökletes tulajdonság és a 2-es típusú diabetes túlnyomórészt a túlsúlyos, elhízott embereknél jelentkezik, ezért feltehető, hogy a cukorbetegségnél is valamelyik gén mutációja révén bizonyos enzimek nem képesek beépíteni a májba és az izmokba a megfelelő cukor mennyiséget, ezáltal többlet inzulin termelődik, és ennek következtében kialakul az inzulinrezisztencia.

Szempontok	1-es típusú diabetes mellitus	2-es típusú diabetes mellitus
Oka	inzulinhiány	inzulinrezisztencia/ relatív inzulinhány
Életkor	bármely életkor, gyakrabban gyerek vagy fiatalok	felőttkor (40. életév-től), a korhatár csökken
Testsúly	általában normális	normális vagy elhízott (2b típus)
Kialakulása	általában gyors	lassú
Béta-sejtek száma	kevesebb mint 10%	kezdetben normális, később csökken
Vérinzulin	alacsony vagy teljesen hiányzik	a betegség elején magas
Autoantitestek	igen	nem
Ketózisra való hajlam	kifejezett	nem jellemző
Inzulinterápia	szükséges	nem feltétlenül szükséges

2. táblázat. A két típusú cukorbetegség összehasonlítása

3. Szövődmények

A cukorbetegség szövődményei között két nagy csoportot különböztetünk meg, a heveny szövődményeket és az idült szövődményeket. Kettő közt a különbséget a kialakulási idő képezi. Míg a heveny szövődmény rövid idő alatt bekövetkező és rosszabb esetben kómával járó eseteket jelent, addig az idült szövődmények a cukorbetegség hosszú távú következményeit foglalja magába.



3.1. Heveny szövődmények

- Ketoacidotikus kóma

Előfordulása szinte kizárólag az 1-es típusú cukorbetegnél tapasztalható. A kóma hátterében a teljes inzulinhiány áll. Ilyenkor a szervezetben felborul a cukorháztartás és a zsírsavakból igyekszik energiát nyerni. A zsírsavból történő energiaátalakítás tökéletlenül megy végbe, ami általános acidózishoz, „savanyodáshoz”, és ebből fakadóan kómához vezet. Az inzulin felfedezése előtt az 1-es típusú diabetes fatális esetei ezzel a kómával indokolhatók.

- Hiperozmoláris kóma

Jellemzően a 2-es típusú cukorbetegséghez köthető és az idős emberekhez. Ebben az esetben a szervezet annyi inzulint termel, hogy a savanyodást elhárítsa, viszont a cukrot már nem tudja beépíteni az izmokba. Ennek hatására a vércukorszint jelentősen megnövekszik és bekövetkezik a komatózus állapot. A fatális végkimenetek száma ennél az állapotnál nagyobb mint a ketoacidotikus állapotnál.

- Laktacidózis kóma

A 2-es típusú cukorbeteg kezelésére használt gyógyszerek egyike a biguanid. Ez a gyógyszer szélsőséges esetben tejsavacidózist okozhat, ami a vér tejsavszintjének kóros megemelkedését jelenti, és tönkreteszi a szervezet alapvető élettani működését. Ezen kóma bekövetkezésének valószínűségét növeli a rendszeres alkoholfogyasztás, tüdőbetegség, Súlyos máj- vagy vesekárosodás együttes jelenléte.

- Hipoglikémiás kóma

A hipoglikémia, alacsony vércukorszintet jelent. Mivel a vércukorszint csökkentéséért kizárólag az inzulin felel, ezért a kóma kialakulásáért a túl sok inzulin tehető felelőssé. A normoglikémia fenntartásáért vívott harcban könnyen előfordulhat, hogy a kívántnál több inzulin kerül a szervezetbe. Ezért mondhatjuk azt is, hogy a hipoglikémiás kóma inkább a kezelés mellékhatása, mint a betegség szövődménye. A hipoglikémiának különböző fokozatai vannak. Enyhébb esetben szapora szívverés, verejtékezés, kínzó éhség lép fel. Súlyos esetben pedig kómás állapotba kerül a beteg. Általában gyorsan alakul ki és nyirkos bőr jellemzi ezt az állapotot a hiperglikémiával ellentétben, mert ott a lassú kialakulás és a száraz bőr a jellemző.

3.2. Idült szövődmények

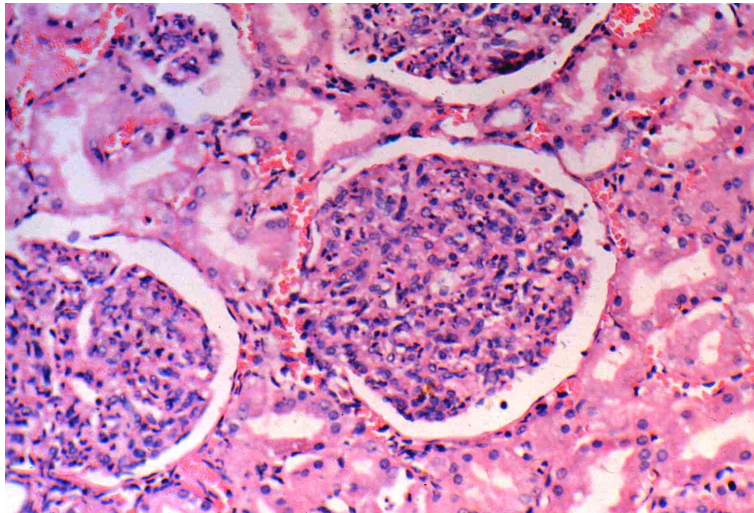
- Retinopátia

A betegeknél egy idő elteltével a szemfenékben érelváltozások tapasztalhatóak, melyek végső esetben vaksághoz is vezethetnek. A mai technikának és a korszerű

inzulinkészítményeknek köszönhetően, a normálglikémiát folyamatosan fent lehet tartani, megfelelő önellenőrzéssel. A látás megőrzéséért és minőségének javításáért a lézertechnika felel.

- Nefropátia

A nefropátia a cukorbetegség vesekárosodással járó szövődménye, melynek kialakulásáért a tartós hiperglikémia tehető felelőssé. Leginkább az 1-es típusú diabeteshez köthető, de a 2-es típusnál is előfordul. A nefropátiával rendelkező betegek gyakran dialízisre kerülnek vagy szerencsésebb esetben vese transzplantáción esnek át. A komoly vesekárosodás miatt az 1-es típusú diabetes leggyakoribb halál oka. Az orvostudomány fejlettségének köszönhetően az ideje korán felfedezett vesekárosodást meg lehet állítani, sőt vissza is lehet fejleszteni. Tünetei a magas vérnyomás és a fehérje megjelenése a vizeletben. Ebből adódóan a nefropátia kezelésére a vérnyomás beállítása (vesevédő hatású gyógyszerekkel) és a csökkentett fehérje tartalmú étrend alkalmas.



3. ábra. Nefropátia

- Neuropátia

A neuropátia olyan idegi károsodást jelent, mely magába foglalja szomatikus (akaratától függő) és autonóm (akaratától független) károsodásokat is.

- Szomatikus neuropátia

A szomatikus idegrendszer a külső ingerek észleléséért illetve az akaratától függő mozgások végrehajtásáért felelős a vázizmok segítségével. Cukorbetegség miatti károsodása rendszerint az alsó végtagok heves fájdalmaival jár nyugalmi

helyzetben, illetve az érző funkciók károsodása miatt eltűnhet a hő és fájdalomérzet is. Ennek következtében a betegek súlyos égési sérüléseket, csonttöréseket, nyílt sebeket szerezhettek a tudtuk nélkül. A szövődmény kialakulásáért nem csak a cukorbetegség lehet felelős. Az alkoholizmus idült szövődménye és egyéb betegségből eredő májbetegség is okozhat neuropátiát. Azon cukorbetegknél, akiknél rendszeres alkoholfogyasztás tapasztalható, a szomatikus idegrendszer károsodásának valószínűsége megsokszorozódik. A diabetes miatt kialakult neuropátia kezelése a normálglikémia beállításával kezdődik, úgy, mint a többi esetben, majd ha szükséges zsírban oldódó B-vitaminfélék és más, idegsejtek táplálkozását segítő gyógyszerek szedésére kerül sor.

– Autonóm neuropátiák

Az autonóm idegrendszer felelő a szervezet belső környezetének, azaz a belső szervek szövetek, izmok (szívizom, harántcsíktolt izom) és a belső elválasztású mirigyek működésének szabályozásáért. Két csoportját különböztetjük meg, a szimpatikus idegrendszert, mely az elemi (ősi) ösztönökért felelős, mint például a menekülés, támadás, és a paraszimpatikus idegrendszert, mely a hosszú távú fennmaradást és energetikai raktározást szolgálja. Az autonóm neuropátiánál először a paraszimpatikus idegrendszer károsodik.

– Kardiális autonóm neuropátia

A szív autonóm idegrendszeri zavarának első tünetei a pulzusszám indokolatlan emelkedése. Ennek oka, hogy a paraszimpatikus idegrendszer károsodása miatt a szimpatikus idegrendszer kerül előtérbe. A szív működés és a légzés között szoros kapcsolat van a szervezetünkben. Mikor az ehhez tartozó idegrendszer károsodik, a szív nem működik gazdaságosan. Ha hirtelen valamilyen aktívabb mozgást végez a beteg, például gyorsan felfut a lépcsőn, akkor oxigénhiányos állapot léphet fel, sőt akár ájulás is. Ennek oka a szív működés és a légzés közti kapcsolat károsodása. Nagyobb levegőt vesz a beteg, de mivel a pulzusszám nem emelkedik, ezért az izmok nem kapják meg a plusz oxigént.

– Gasztrointesztinális autonóm neuropátia

A gyomor-bél, emésztés felszívódás mechanizmusáért a szimpatikus és paraszimpatikus idegrendszer működésének egyensúlya felelős. A diabetes először itt is a paraszimpatikus idegrendszert károsítja, azaz a táplálék nem tud előre jutni a szervezetben. Ennek következményeképp a gyomor kitágul és étel marad benne. Az ételmaradék nem képes felszívódni ezért a betegség első tünete, a hányadékban lévő több napos ételmaradék. A lassú felszívódás miatt az inzulint szakaszosan kell az ilyen betegeknek adagolni.

Az idegi károsodás kiterjedhet az alsó bélszakaszokra és az epehólyagra is. Utóbbi esetben az epehólyag kitágulhat, mely nagy fájdalmakkal jár, illetve az étkezés közben epehólyag-összehúzódás elmaradhat.

– Urogenitális autonóm neuropátia

Az ivarszervek idegrendszeri károsodása elsősorban a férfiakra jellemző. Ebben az esetben a hólyagizmok nem működnek megfelelően és a beteg nem tud megszabadulni a vizelettől. A prosztatata megnagyobbodása is ugyanezeket a tüneteket mutatja, viszont a vizsgálatok alkalmával a prosztatata problémát kell előtérbe helyezni.

Az urogenitális neuropátia tünetei közé soroljuk az impotenciát is. Bár le kell szögezni, hogy ennek a tünetnek több más oka is lehet. Ha a betegnek reggelként spontán erekciója van, akkor nem beszélhetünk organikus eredetű impotenciáról. Amennyiben organikus eredetű a potencia zavar és bizonyítottan a cukorbetegségből ered, akkor a kezelése az előző esetekkel megegyezően a normálglikémia fenntartásával kezdődik.

- Diabéteszes láb

A cukorbetegségre talán legjellemzőbb és egyben legrettegettebb szövődmény a diabéteszes láb. Kialakulásának oka összetett. Egyrészt a cukorbetegség miatt az érző idegek károsodnak, hő és fájdalomérzet megszűnhet. Másrészt a csontállomány táplálkozási zavara miatt a lábat alkotó csontok szerkezete deformálódik, ami duzzadáshoz és talp süllyedéshez vezet. Súlyosbító tényezőnek számít az érlemezésedés, pontosabban a lábfej kisebb verőeres ereinek meszesedése, elzáródása, ami ugyancsak lehet a diabétesz szövődménye.



4. ábra. Diabéteszes láb

A diabéteszes láb tünetei igen szembetűnőek. A talpon fájdalommentes mély, akár csontig hatoló fekélyek keletkeznek, melyek sok esetben amputációval, csonkolással végződnek.

4. Cukorbetegség kezelése

4.1. 1-es típusú diabétesz kezelése

Az 1-es típusú cukorbetegség a béta sejtek pusztulása miatt, nem képesek, vagy csak csekély mértékben tudnak inzulint előállítani. Így számukra kívülről kell biztosítani az inzulint. Ez történhet injekcióval, inzulin tollal vagy inzulin pumpával. A befecskendezett mennyiséget Nemzetközi Egység jelöli, amely definíció szerint: $0,0347\text{ mg} = 1\text{ NE}$. Az inzulin kezelés velejárója a napi többszöri vércukorszint ellenőrzés. Ez történhet olyan vércukorszint mérővel, mely az ujjbegyből vett vércseppet elemzi és történhet folyamatos vércukorszint mérővel is, mely egy bőr alá beültetett szenzor segítségével méri a vércukor értéket. A két mérés közül pontosabb eredményt az ujjbegyes vizsgálat ad.

Az inzulin kezelés mellett diéta alkalmazására is szükség van. Az étrendből a gyorsan felszívódó, vércukorszintet hirtelen emelő szénhidrátokat el kell hagyni, illetve a fő étkezések összeállításában a diabetikusra kell hagyatkozni.

4.2. 2-es típusú diabétesz kezelése

Ebben az esetben nem inzulinfüggőségről beszélünk, hanem hosszú idő alatt kialakult inzulinrezisztenciáról. A 2-es típusú cukorbetegség kezelésében 5 lépcsőfokot különböztünk meg.

- Első lépcsőfok

Mint már említettük a betegség kialakulásában nagy szerepet játszik az elhízás. Éppen ezért a kezdeti stádiumban még az életmódváltás kedvező eredményt hozhat. Testsúly csökkentéssel, diétával, sportolással ezen szakasza a betegségnek kordában tartható.

- Második lépcsőfok

Itt már önmagában a diéta és a sportolás nem elegendő, ezért orális antidiabetikumok szedésére van szükség. A gyógyszerek hatására az inzulinrezisztencia csökken, így a vércukorszint is csökken.

- Harmadik lépcsőfok

Ha az inzulinrezisztencia már komolyabb stádiumba került, akkor az antidiabetikumok kombinált szedésére válik szükségessé.

- Negyedik lépcsőfok

A betegség fokozódásával hosszú hatású inzulinkészítményeket írnak fel az orvosok. Ezeket a készítményeket a betegeknek este kell alkalmazni.

- Ötödik lépcsőfok

A betegség ezen stádiuma gyakorlatilag megegyezik az 1-es típusú cukorbetegséggel. A béta sejtek teljesen kimerültek, nem termelnek inzulint. Kezelése inzulinterápiával a fent említett módon történik.

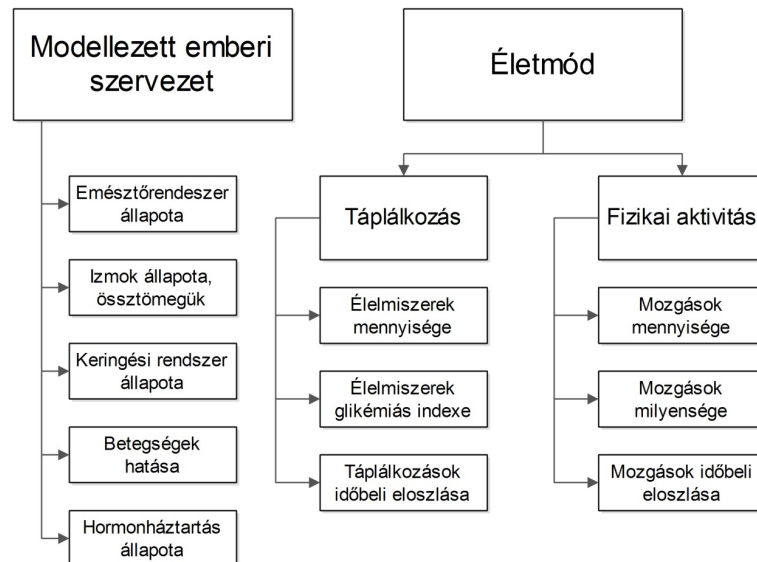
A gyógyszeres kezeléseken túl a diéta elengedhetetlen velejárója a kezelésnek. A zsír bevitelét radikálisan csökkenteni kell, mert a többszörösen telített zsírok rontják a sejtek inzulinnal való összekapcsolódását. Ennek hatására a sejtek kevesebb glükózt tudnak felvenni, így a vércukorszint emelkedik.

5. A modell leírása

Az előzőekben látni lehetett, hogy az emberi szervezetben egy eléggé összetett szabályzó-folyamat segítségével történik a vércukorszint szabályozása, továbbá ismertetésre került, hogy alapvetően milyen tényezők, hogyan befolyásolják a vércukorszintjét. Az előző részben, elsősorban a vércukorszint szabályozásának bemutatása volt a cél, továbbá a vércukorszintet leginkább befolyásoló két fő paraméter a táplálkozás illetve a fizikai aktivitás hatásának részletesebb bemutatása. Azonban a valóságban ezeknél jóval több tényező befolyásolja egy ember vércukorszintjét. Az alábbi felsorolás tartalmazza a további főbb tényezőket.

- vér inzulin szintje
- vér glükagon szintje
- sejtek inzulin érzékenysége
- elfogyasztott élelmiszer glikémiás tulajdonságai
- elfogyasztott élelmiszer mennyisége
- az emésztőrendszer állapota, emésztés,-tápanyag felszívódás gyorsasága
- fizikai aktivitás
- fizikai aktivitás milyensége, mennyisége
- izmok állapota, össztömege
- véráram gyorsasága
- keringési rendszer állapota
- egyéb más fennálló betegségek hatása

A modellezés szempontjából segítséget jelent, ha a fenti felsorolásban szereplő tényezőket csoportba soroljuk, ez az általunk választott felosztás látható az alábbi ábrán. A modellünket is alapvetően ezekre a részekre, egymástól függetlenül működőképes blokkokra lehet felosztani.



5. ábra. Vércukorszintet befolyásoló tényezők modellezése

6. Modell felépítése



6. ábra. Egészséges szervezet

6.1. Táplálkozás modul

Az életmód blokkban található táplálkozás modul azt határozza meg, hogy mikor, milyen fajta, illetve mekkora mennyiségű táplálékot juttatunk a szervezetbe. Gyakorlatilag a véráramba bekerülő cukor mennyiségét határozzuk meg itt. A fentiekben említésre került, hogy a különböző ételek vércukorszint növelő hatását, tehát a glikémiás indexét

nehézkés meghatározni készételekre illetve mindenféle egyéb befolyásoló tényezőt figyelembe venni, mint például az elkészítés módja. Ezért ebben a részben azzal az egyszerűsítéssel élünk, hogy három csoportra osztottuk az élelmiszereket: alacsony, közepes, illetve magas glikémiás indexűekre, azzal a feltételezéssel élve, hogy az elfogyasztott ételről, ételről ismert, hogy melyik kategóriába tartozik. Ebben a modulban továbbá meg lehet adni, hogy az adott táplálékot mely időpontban visszük be a rendszerbe.

6.1.1. Fizikai aktivitás modul

A cukorbetegnek számára a fizikai aktivitás kedvező hatással bír. Mozgás során az izomzatban energiaátalakítási folyamatok mennek végbe, melynek egyik fő alkotója a glükóz. Az energiaátalakítás szempontjából két mozgásfajtát különböztetünk meg. Az anaerob és az aerob mozgásokat. Az anaerob munkavégzés intenzív erő kifejtéssel járó mozgásokat foglal magában. Ebben az esetben, szervezetünkben az energiaátalakításhoz nem áll rendelkezésre elegendő oxigén, ezért energiánkat az ATP-ADP, kreatinfoszfát átalakítási és glikolízis reakciók során nyerjük. Jellemzően ilyen mozgásfajta a sprint, vagy lépcsőn gyorsan felfutás. A mozgássorozatot lihegés és kifulladás követi.

Az aerob munkavégzés csekély erő kifejtéssel járó mozgásmintát jelent. Ebben az esetben az energiánkhoz már rendelkezésre áll megfelelő mennyiségű oxigén és ezáltal az energiánkat a szénhidrátok és zsírok átalakításából nyerjük. Ilyen mozgásfajta például a kocogás, úszás intenzív séta is.

Modellünkben 3 különböző intenzitású mozgásfajtát vettünk figyelembe. Az első csoportba tartoznak a csekély erő kifejtéssel járó aerob munkavégzések. Például egy hosszabb séta az erdőben. A második csoportba a már közepes munkavégzéssel járó, de még mindig aerob mozgások. Ilyen például a kocogás vagy az úszás. A harmadik csoportba az aerob és anaerob mozgások kombinációit raktuk. Mivel az anaerob munkavégzés nagy intenzitású, ezért hosszú ideig nem lehet végezni. Viszont amint alább hagy az iram már anaerob munkavégzésről beszélünk.

Az 1-es típusú cukorbetegnekél elsősorban az érzővődmények csökkentése a cél a testmozgással. Viszont bizonyítottan a rendszeres testmozgás hatására csökken az inzulinigény, ami kedvező hatással van a beteg állapotára. Nagyon fontos viszont, hogy a testmozgásnak rendszeresnek kell lennie és folyamatosan figyelemmel kell kísérni a vércukorszint változását. Mozgás előtt, közvetlen utána és egy órával később is mérni kell a vércukor értéket. A mozgás során és utána is könnyen előfordulhat hipoglikémia. Ilyen esetre tartalékban kell lennie szőlőcukornak vagy súlyosabb esetben glükagon injekciónak.

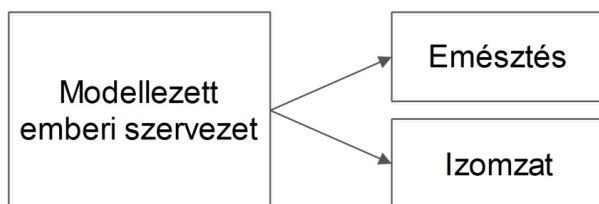
A 2-es típusú cukorbetegnekél inzulinrezisztencia áll fenn, ezért a testmozgás rögtön a diéta után sorolható, mint kezelési eljárás, mert a mozgás hatására fokozódik az inzulinérzékenység. Mivel ennél a típusnál a betegek nagy része elhízott és betegségük kialakulásáért is ez tehető felelőssé, ezért a testsúly csökkentése megfelelő edzéssel is kedvező

hatással van a vércukorszint értékére.

6.2. Modellezett emberi szervezet

Ez a legbonyolultabb része a modellünknek, ahol az előző két modul kimenetéből kell meghatározni az aktuális vércukorszintet. Ezt a modult ketté lehet bontani emésztés illetve izomzat almodulokra. Az emésztés almodulban történik a táplálék glükózzá alakítása.

Ez tartalmazza, hogy az elfogyasztott étel milyen gyorsan alakul át glükózzá és kerül be a véráramba. Mivel a valóságban ezt a folyamatot nagyon sok tényező befolyásolja, mint már az előző részben is említésre került, ezért ezen a téren is egyszerűsítésekhez folyamodtunk. A táplálékbevitelt úgy modellezzük, mintha közvetlenül a véráramba történne a glükóz bejuttatása. Tehát hasonlóan, mint



7. ábra. Modellezett szervezet almoduljai

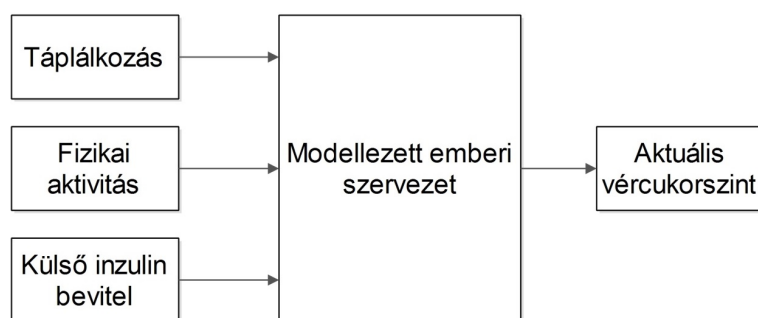
ahogy a Bergman-féle úgynevezett minimál modell is leírja. Ezt a matematikai modellt alapvetően IVGTT (Intra vénás glükóz tolerancia teszt) tesztek során kapott eredmények alapján állították fel. A benne található konstansoknak az értékének meghatározása számos orvosi kísérlet eredményeként jött létre.

Az izomzat almodulban a testsúlyból számítunk egy átlagos izomtömeget és ez alapján becsüljük meg, hogy a különböző intenzitású mozgások során mekkora energiamennyiséget emésztetek fel a szervezetben található izmok. Ha nagyjából ismert az egységnyi idő alatt az izmok által felhasznált energiamennyiség, akkor abból ki lehet számítani, hogy egységnyi idő alatt mekkora mennyiségű glükózt vesznek fel az izmok a véráramból. Tehát egységnyi idő alatt milyen mértékben csökkentik a vércukor szintjét.

Az éppen aktuális vércukorszint a szervezetbe bemenő két alapjel előjeles összegeként áll elő az egyes időpillanatokban.

6.3. Modell felépítése, 1. típusú cukorbeteg

Az 1. típusú cukorbeteg vércukorszintjének szimulálására felépített modell teljesen megegyezik a fent leírt egészséges szervezet modelljével, annyi a különbség, hogy rendelkezik még egy külső inzulin bevitel modullal. Mivel az 1. típusú cukorbetegségben szenvedők nem képesek inzulint előállítani a szervezetükben, ezért azt mesterségesen, külső bevitellel tudják bejuttatni a szervezetükbe.



8. ábra. 1. típusú cukorbeteg modellje

6.4. Inzulin készítmények cukorbetegek számára

Régebben a különböző inzulinkészítményekben található inzulin állati eredetű volt, sertés illetve szarvasmarha hasnyálmirigyéből vonták ki a készítményekhez szükséges inzulint. Az ilyen régebbi állati eredetű inzulinkészítményeknél gyakoriak voltak az allergiás reakciók a készítményekkel szemben. A géntechnológia fejlődésével az 1980-as évek elején lehetőség nyílt emberi inzulin mesterséges előállítására génmódosított baktériumok segítségével. Napjainkban már csak ilyen humán inzulint tartalmazó inzulinkészítményeket forgalmaznak a különböző nagy gyógyszeripari cégek.

6.4.1. Gyorshatású inzulin (hagyományos emberi inzulin)

A gyorshatású inzulin megegyezik az emberi szervezetben található inzulinnal, hatása teljesen azonos azzal. Hatását gyorsan kifejti, 2-4 óra alatt éri el hatásmaximumát azonban a hatás időtartama rövid 6-8 óra. Szervezetbe juttatása történhet közvetlenül étkezés után, vagy 10-12 perccel az étkezés megkezdése előtt is.

6.4.2. Ultragyors-hatású inzulin (Aspart, lispro, glulisine)

Az inzulin molekula kémiai felépítésének módosításával, olyan inzulint hoztak létre a gyógyszerészek, mely a humán inzulinnál gyorsabban képes felszívódni és hatásának időtartama is rövidebb. Az inzulin molekula fehérében megváltoztattak két aminosavat, ezáltal voltak képesek elérni ezt az eredményt. Ennek a változtatásnak a hatására a bőr alá, közvetlenül a zsírszövetekbe befecskendezett inzulin molekulák nem képeznek hatosával nagyobb molekulákat, úgynevezett hexamereket. Ezek a hexamerek lassítják az inzulin vérbe történő bejutását, mert először ezeknek a nagyobb molekuláknak kell izomerekre felbomlaniuk, melyek aztán képesek a hajszálerek segítségével bejutni a véráramba. Tehát ha ezt a folyamatot meg tudják akadályozni akkor az inzulin molekulák képesek sokkal gyorsabban felszívódni a zsírszövetek közül a véráramba, ezáltal gyorsabban fejtik ki hatásukat. Amiatt, hogy képesek jóval gyorsabban felszívódni a hagyományos emberi

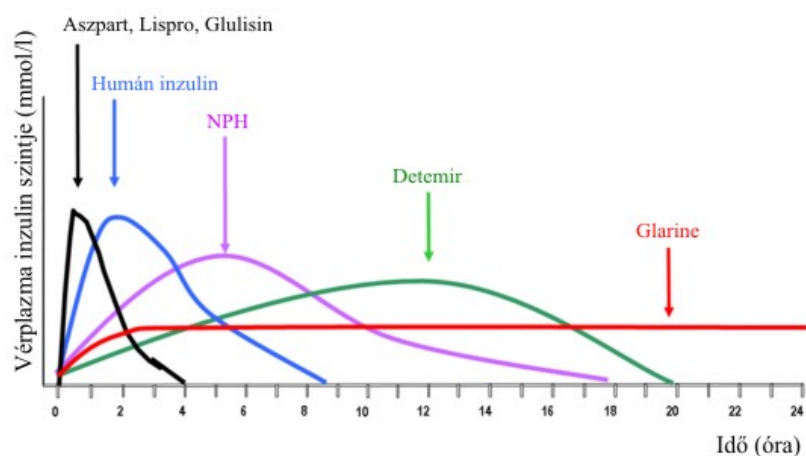
inzulinnál, az ilyen készítményeket elég közvetlenül az étkezés megkezdése előtt a szervezetbe juttatni. Hátránya az ilyen készítményeknek, hogy a hatásuk időtartama rövid, emiatt étkezések után fennállhat a hiperglikémia veszélye.

6.4.3. Középhasú inzulín (NPH, isofán inzulín)

Az előzőekben az ultragyors-hatású inzulinnál az volt a gyógyszerészek, vegyészek célja, hogy megakadályozzák az inzulín molekulák összetapadását a zsírszövetben, ezáltal gyorsítani a felszívódásukat. A középhasú inzulínok létrehozásánál pont ellentétes a cél, különböző anyagok hozzáadásával késleltetni az inzulín molekulák véráramba történő bejutását. Az egyik lehetséges megoldás, ha az inzulín molekulákat protaminnal keverik, az így kapott oldatot fecskendezik a bőr alá, melyet NPH-inzulinnak neveznek. Az inzulín összeáll a protaminnal és csak a protamín lebomlása után képes a zsírszövetből felszívódni. A másik lehetőség az inzulín hatásidejének növelésére, fokozatos felszívódására, ha cinkkel keverik. Az inzulín molekula a cink hatására kikristályosodik és a kristályszerkezetből csak lassan képes feloldódni. Az ilyen módon létrehozott inzulínok 1-3 óra elteltével kezdik el kifejteni hatásukat, a hatás maximumukat 6-10 óra alatt érik el, hatásuk 14-18 órán keresztül tart. A középhasú inzulínokat a táplálék beviteltől függetlenül lehet adni, jellemzően este vagy reggel történik a beadásuk. Hátránya a cinket tartalmazó középhasú inzulín készítményeknek, hogy nem lehet gyors-hatású inzulínokkal együtt alkalmazni ezeket a készítményeket, mert a gyors-hatásúak is elhúzódnak hatásúvá válnak.

6.4.4. Hosszúhatású inzulín (glargin)

Ezeket a típusú inzulínokat is a hagyományos inzulín molekulák a kémiai tulajdonságainak, illetve molekuláris szerkezetének megváltoztatásával, mesterségesen állítják elő, a középhasú inzulínoknál ismertetett technológiák segítségével. A különböző típusú inzulínok között ezeknek a leghosszabb a hatásidőtartama. A beviteltől számított első hat órában nagyon kis hatással bírnak, utána fokozatosan fejtik ki hatásukat, 28-36 órán keresztül. Ilyen készítmények esetén nincsen hatáscsúcs.

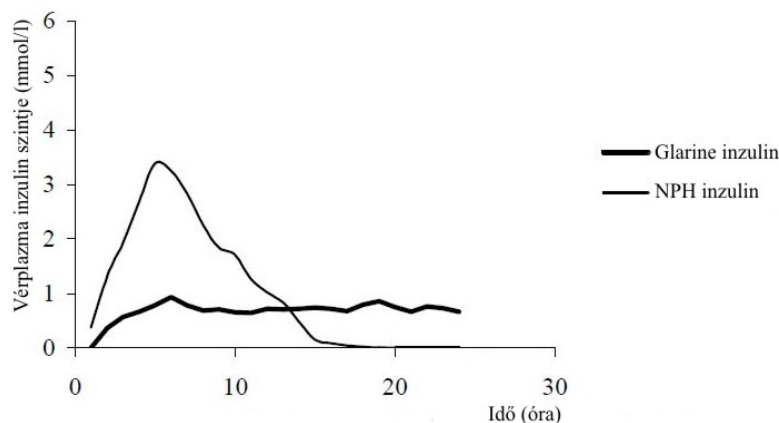


9. ábra. Különböző típusú inzulinok hatásgörbéi

Inzulin fajtája	Márka név	Genetikus neve	Hatás kezdet	Hatás csúcs	Hatás időtartam
Ultragyors-hatású	Novolog	Aszpart inzulin	15 perc	30-90 perc	3-5 óra
	Apidra	Glulisine			
	Humalog	Lispro			
Gyorshatású inzulin	Humulin R	Humán inzulin	30-60 perc	2-4 óra	5-8 óra
	Novolin R				
Középhatású inzulin	Humulin N	NPH	1-3 óra	8 óra	12-16 óra
	Novolin N				
Hosszú hatású inzulin	Levemir	Detemir	1 óra	Nincs	20-26 óra
	Lantus	Glargine			

3. táblázat. Különböző típusú inzulinkészítmények összehasonlítása

Az ábrán a különböző típusú inzulinkészítmények összehasonlítása látható, a vérplazmában található inzulin mennyiségének időbeli alakulása alapján. Az ábra görbéi idealizáltak, az egyes készítmények közötti különbségeket szemlélteti. A valós, méréseken alapuló inzulinszint görbe az alábbi ábrán látható.



10. ábra. Valós méréseken alapuló inzulinszint görbe

7. Szimuláció

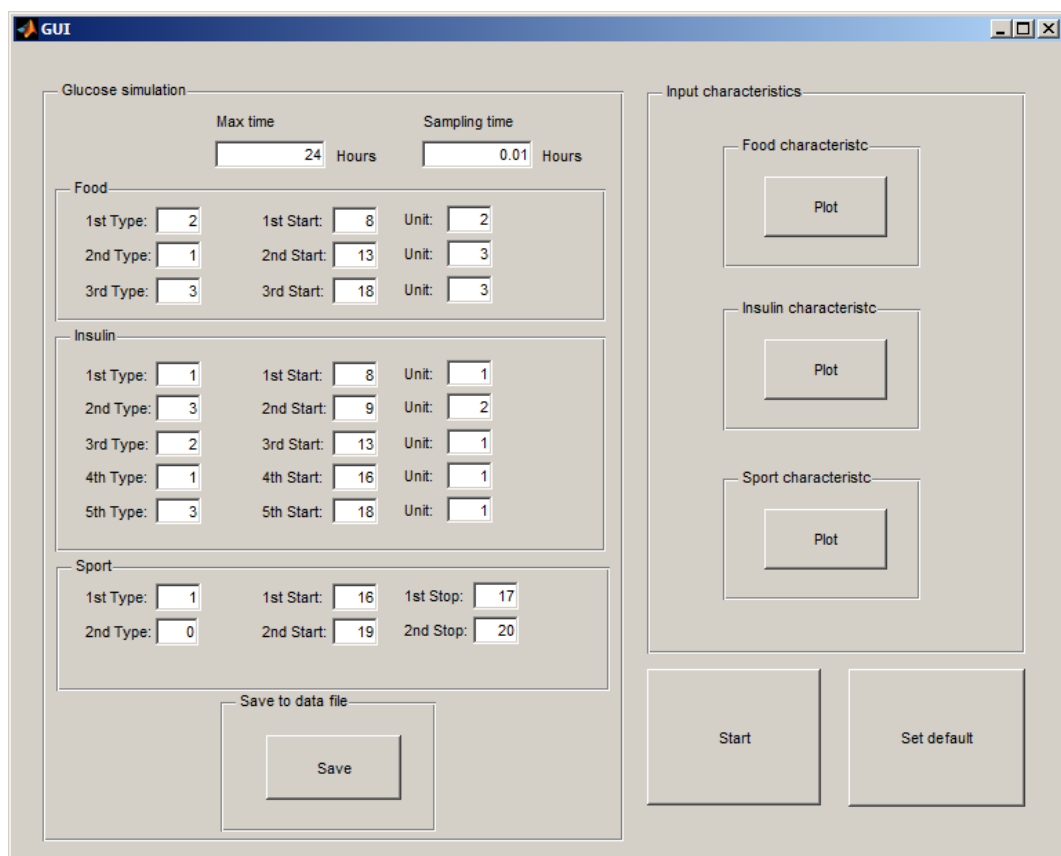
Az emberi vér glükózsztímváltozásának szimulációját a Matlab matematikai programcsomagban készítettük el. A könnyebb és gyorsabb használhatóság érdekében elkészült egy grafikus felület is a szimulációhoz. Itt tetszés szerint a kezdeti paraméterek beállíthatók, valamint a szimuláció végén a részletesebb eredmények mentése és megtekintése pár gombnyomás után egyszerűen elvégezhetőek.

7.1. Program használata

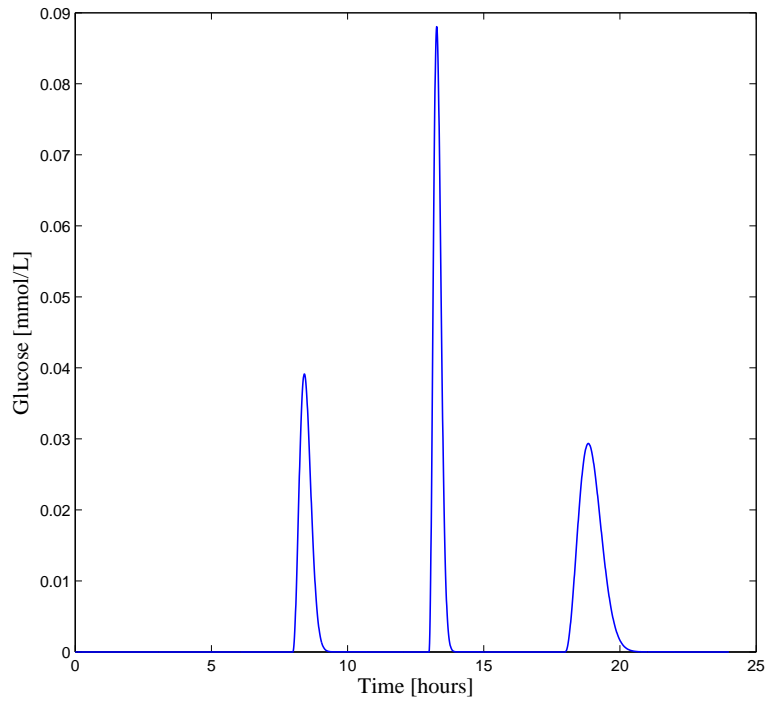
A szimuláció megkezdése előtt számos paraméterértéket kell előre megadni a grafikus felületen. Az első kettő ilyen paraméter a szimuláció futási idejének hossza (Max time) és lépésköze (Sampling time), melyek mértékegységét órában kell értelmezni.

Ezek után definiálni kell a szimuláció során beadott étel (Food), inzulin (Insulin), és végzett sport tevékenységek típusait (Type), időbeli kezdéseit/végeit órában megadva (Start/Stop), és utolsóként még azt, hogy ezeket mekkora egységben (Unit) kívánjuk használni a szimuláció során. Itt még fontos megjegyezni azt, hogy a típus paramétereknél a „0” érték használatával kihagyhatunk eseményeket, vagyis a „0” típusú eseményeket üres eseményeknek tekinti a szimuláció, és így ennek segítségével például az előre megadott maximális sport események száma tetszés szerint csökkenthető.

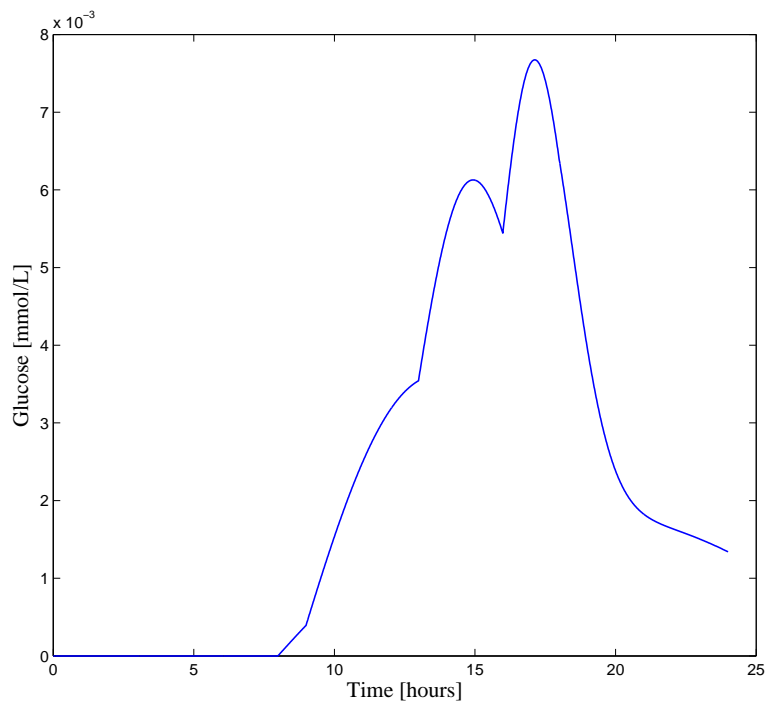
A szimuláció megkezdése értelemszerűen a Start gomb megnyomásával indítható. A szimuláció végeztével aktívvá válnak a szimulált adatok mentése, a Save gombbal, és még lehetővé válnak a Plot gombok használata is, melyekkel kirajzoltathatjuk az előre definiált bemeneti események 24 órás összesített jelleggörbéit.



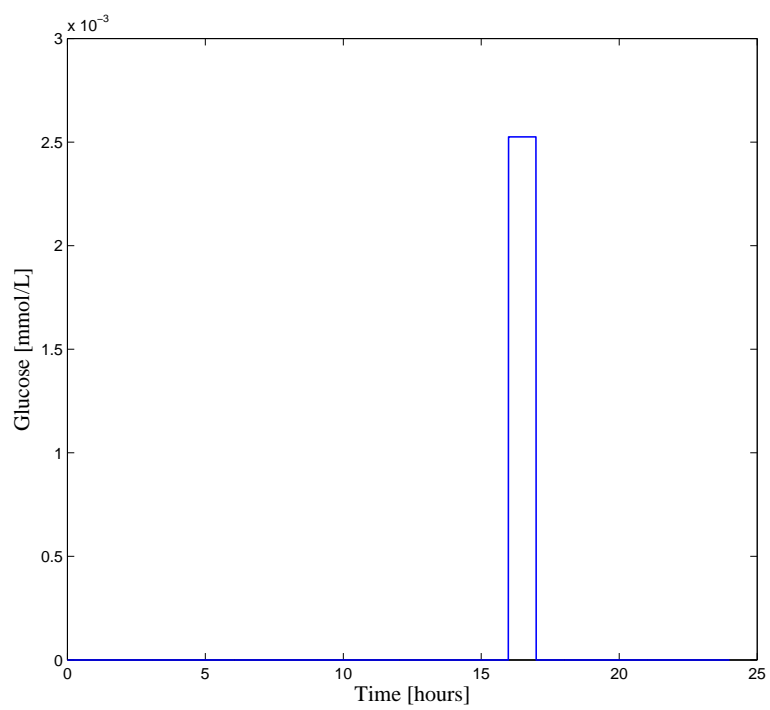
11. ábra. Szimuláció grafikus felülete



12. ábra. 24 órás összesített étel jelleggörbe



13. ábra. 24 órás összesített inzulin jelleggörbe



14. ábra. 24 órás összesített sport jelleggörbe

7.2. A szimuláció működése

A szimuláció során előre definiált étel, inzulin és sport jelleggörbék állnak rendelkezésre, melyek területei egységnyiek, és csak az időbeli lefutásban különböznek egymástól. Ezzel a módszerrel különböző felszívódási idővel rendelkező ételek és inzulinok szimulálhatóak, amelyek az egységnyi területük miatt 1 mmol/L egységnyi vércukor növekedést vagy csökkenést okoznak a szimuláció során.

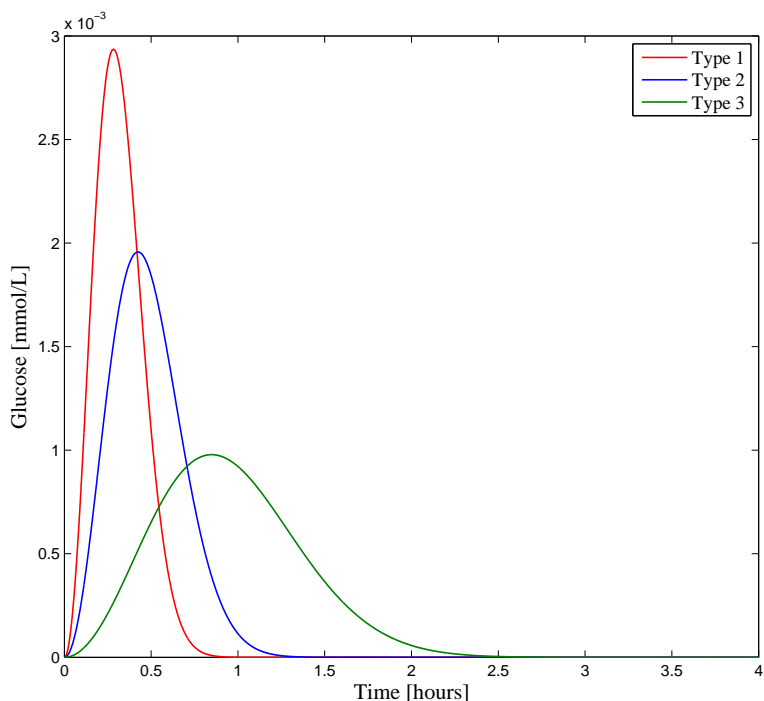
Ételből és inzulinból egyaránt 3-3 felszívódási görbét határoztunk meg előre, amelyek irodalmi példákban talált alakjait, megfelelően paraméterezett valószínűségi sűrűségfüggvényekkel közelítettünk. Az étel esetén használt 3 felszívódási jelleggörbét a Maxwell-Boltzmann-eloszlásból állítottuk elő, a 3 különböző inzulin felszívódási jelleggörbét pedig a Rayleigh-eloszlásból.

Maxwell-Boltzmann-eloszlás sűrűségfüggvénye:

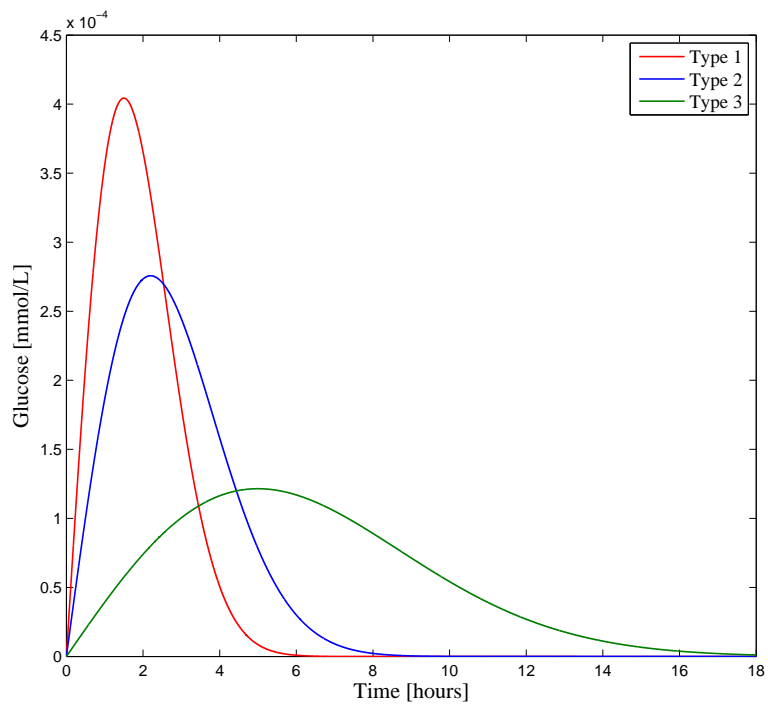
$$f(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{x^2}{\sigma^3} \exp\left(\frac{-x^2}{2\sigma^2}\right); \quad x \geq 0$$

Rayleigh-eloszlás sűrűségfüggvénye:

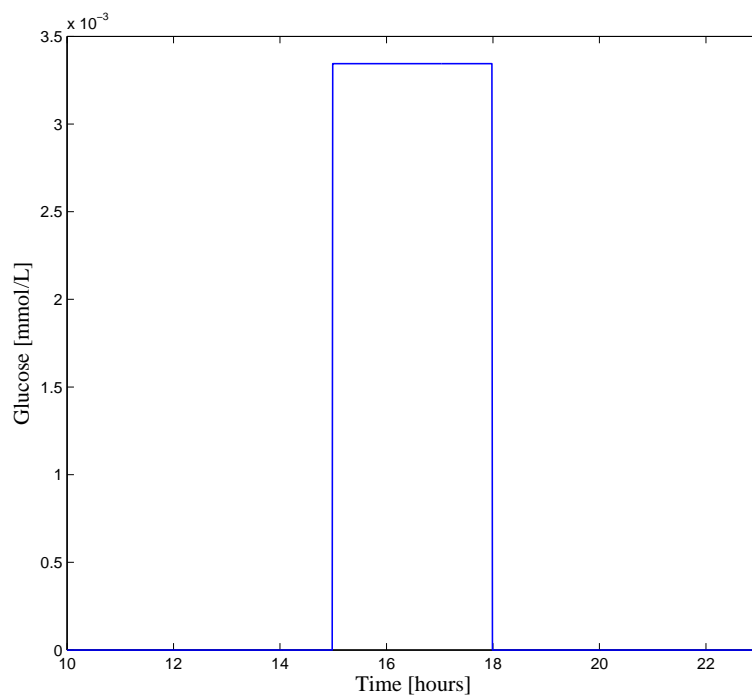
$$f(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(\frac{-x^2}{2\sigma^2}\right); \quad x \geq 0$$



15. ábra. Étél jelleggörbe, Type 1: $\sigma = 0.2$, Type 2: $\sigma = 0.3$, Type 3: $\sigma = 0.6$



16. ábra. Inzulín jelleggörbe, Type 1: $\sigma = 1.5$, Type 2: $\sigma = 2.2$, Type 3: $\sigma = 5$



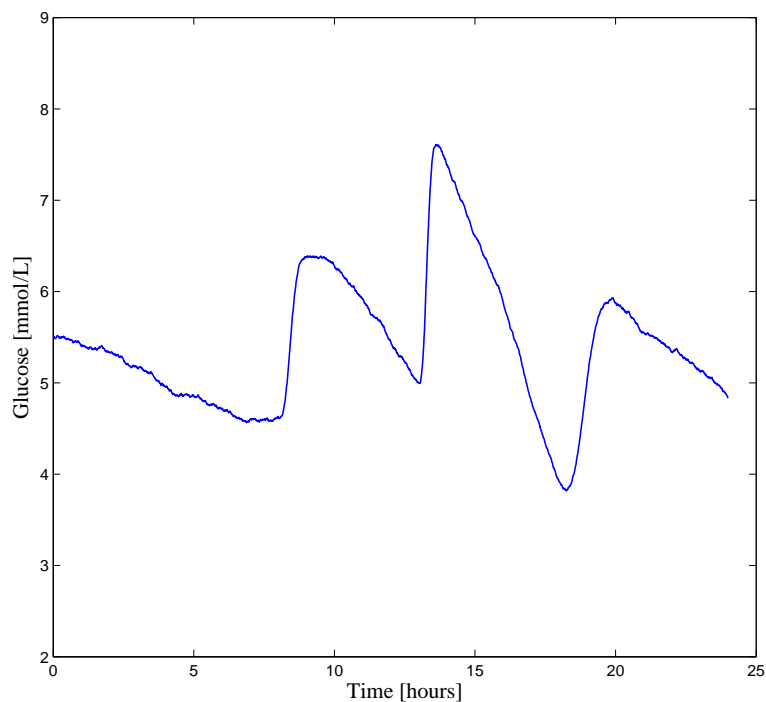
17. ábra. Sport jelleggörbe

Sport jelleggörbének egy egyszerű négyszögjelet használtunk. A szimulációban három típus érhető el a sport tevékenységből is. Ezek csak területükben különböznek, vagyis így

a kívánt kezdő és végpont között azt tudjuk a típusokkal szabályozni, hogy a területnek megfelelően mennyi cukrot dolgozzunk le a sporttal. A három típus közül a „3” felel meg az 1 mmol/L egységnyi csökkenésnek, a „2” a 0,5 mmol/L-nek, és az „1”-es típus 0,25 mmol/L-nek.

A szimuláció az 5,5 mmol/L-től indul. A szimulációban a vércukorszint egy kis meredekséggel folyamatosan csökken, hogy vizuálisan látható legyen az, hogy miért is szükséges a napi táplálék bevitel. Ez a meredekség akkora, hogy éhezés hatására (semmilyen behatás nélkül) a vércukorszint már 24 óra alatt biztosan lecsökkenne egy igen alacsony 3 mmol/L értékre.

A szimuláció elindítása után ez a folyamatos kis meredekségű csökkenés befolyásolja a változást, valamint az előre beadott étel, inzulin, és sport jelleggörbék. Ezek „eredő” összege minden egyes szimulációs lépésben hozzáadódik/levonódik az aktuális vércukorszintből, és végeredményül ennek hatására az időbeli változás tökéletesen megfigyelhető.



18. ábra. A szimuláció eredménye

7.3. A szimuláció fejlesztési lehetőségei

- Szimuláció személyre szabása

A szimuláció pontosságát nagyban megnövelné, ha a modellezett emberi szervezet paramétereit (izomtömeg, sejtek inzulinérzékenysége, emésztés gyorsasága, vér térfogata) adott betegre lehetne beállítani. Mérések, klinikai tesztek segítségével a fenti paramétereket egyénre szabottan meg lehet határozni és ezeket a pontos adatokat a szimulációba implementálni.

- Figyelmeztető rendszer

Egy adott szimuláció lefuttatása után a rendszer jelezne, hogy mely időpontban, időpontokban ér el kritikus szintet (alacsony, magas) a vércukorszintje a betegnek. Ezáltal felhívna a figyelmet, hogy ha a szimulációban megadott módon fog táplálkozni, mozogni, inzulint beadni magának a következő 24 órában akkor az nem lesz megfelelő. Természetesen, hogy ez a funkció megfelelően tudjon működni ahhoz a szimuláció pontosságának nagymértékű fejlesztésére van szükség.

- Öntanuló rendszer

A figyelmeztető rendszert tökéletesítené a mesterséges intelligencia használata. A betegeknek ehhez az elején az átlagosnál jóval többször kellene mérni a vércukorszintjüket. Például Különböző glikémiás indexű ételek elfogyasztása előtt és után többször vagy sportolás előtt és után. Ha ezeket a mért értékeket mindig referenciapontként tápláljuk az öntanuló rendszerünkbe, akkor az idő előrehaladtával a rendszer a referenciapontokra is támaszkodva pontosabb becslést tudna kijelezni a vércukorszint értékéről. Ez nagymértékben megnövelné a rosszullét vagy akár a kóma elkerülésének esélyét.

- Inzulinpumpával történő kombinálás

1. típusú cukorbetegség esetében gyakori, hogy az inzulin szervezetbe történő bejuttatására egy úgynevezett inzulinpumpát alkalmaz. Az inzulinpumpán be lehet állítani, hogy mikor és mekkora mennyiségű inzulint juttasson a beteg szervezetébe. Ígéretes fejlesztési lehetőség, ha az adott számítógép, lap-top, melyen a beteg futtatja a szimulációt kommunikálni tudna az inzulinpumpával. Az inzulinpumpa elküldené az előző napi inzulin görbét a szimuláció számára, illetve az is lehetséges lenne, hogy a szimuláció alapján történjen az inzulinpumpa aznapi inzulin adagolása.

- Okos telefon alkalmazás

Napjainkban egyre elterjedtebbek az úgynevezett okos telefonok, melyek már megfelelő számítási kapacitással rendelkeznek egy ilyen szimuláció, alkalmazás lefuttatásához. A nagy előnye ezeknek az okos telefon alkalmazásoknak, hogy könnyedén,

olcsón sok ember számára elérhetőek. Az alkalmazás akkor lehetne igazán hasznos, ha kombinálnánk, szinkronizálnánk a beteg naptárával, határidő naplójával, ezáltal az alkalmazás látná, hogy a beteg mikor fog sportolni, másnap mikor lesz ebédszünete. Ezáltal nem kellene minden nap a betegnek az adott napi szimuláció előtt az adott napi programját betáplálni, hanem ezt már a szimuláció automatikusan tudná.

Hivatkozások

- [1] <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs312/en/>
- [2] International Diabetes Federation (IDF), Diabetes Atlas, third edition, 2006
- [3] IDF, Annual Report 2012
- [4] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Inzulin#Inzulink.C3.A9sz.C3.ADtm.C3.A9nyek>
- [5] <http://patikapedia.hu/hasnyalmirigy>
- [6] Bartos Molnár Tímea: A cukorbetegség lényege, okai, szövődményei, a megelőzés lehetőségei, Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, 2008
- [7] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Cukorbetegs%C3%A9g>
- [8] http://www.dlife.com/diabetes/insulin/about_insulin/insulin-chart
- [9] [http://diabetesmanager.pbworks.com/w/page/17680318/
/The%20Management%20of%20Type%201%20Diabetes](http://diabetesmanager.pbworks.com/w/page/17680318/The%20Management%20of%20Type%201%20Diabetes)
- [10] <http://www.ema.europa.eu>
- [11] [http://www.egeszsegtukor.hu/ferfitukor/a-testmozgas-jelentosege-
cukorbetegsegben.html](http://www.egeszsegtukor.hu/ferfitukor/a-testmozgas-jelentosege-cukorbetegsegben.html)
- [12] <http://www.egeszseg.hu/cukorbetegseg-es-testedzes/>
- [13] [http://www.webbeteg.hu/cikkek/cukorbetegseg/861/cukorbetegseg-milyen-
tunetekre-figyeljen](http://www.webbeteg.hu/cikkek/cukorbetegseg/861/cukorbetegseg-milyen-tunetekre-figyeljen)
- [14] [http://www.diabetes.hu/cikkek/diabetes/0902/a-2-es-tipusu-cukorbetegseg-
kezelese&nofb=true](http://www.diabetes.hu/cikkek/diabetes/0902/a-2-es-tipusu-cukorbetegseg-kezelese&nofb=true)
- [15] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Cukorbetegs%C3%A9g>
- [16] Maxwell-Boltzmann distribution:
http://en.wikipedia.org/wiki/Maxwell%E2%80%93Boltzmann_distribution
- [17] Rayleigh distribution: http://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh_distribution