

Bakalářská práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra kybernetiky

Návrh simulátoru inzulinové pumpy

Benjamin Hejl

Vedoucí práce: doc. Ing. Danial Novák, Ph.D.
Studijní obor: Kybernetika a robotika
Srpen 2020

Poděkování

Děkuji Tomáši Prachenskému a Tomáši Tran za pomoc s výrobou 3D modelů a mé rodině za podporu a korekturu textu.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, 12. srpna 2020

Abstrakt

Předmětem této práce je rozšíření seriózní hry MyDiabetic o senzor kontinuálního monitorování glykémie a inzulínovou pumpu.

Práce rozebírá vlastnosti a limitace těchto dvou diabetických pomůcek a popisuje návrh a implementaci jejich herních modelů pro účely integrace do hry MyDiabetic.

Rozšířená hra MyDiabetic byla kvalitativně testována na 9 dětech s diabetem prvního typu ve věku 7 až 16 let. Testování prokázalo, že navržené herní modely a jejich ovládání jsou intuitivní a odpovídají realitě. Sebraná zpětná vazba byla použita pro zlepšení ovládání.

Klíčová slova: MyDiabetic, Diabetes mellitus, Android, iOS, Unity, Inzulínová pumpa, senzor CGM

Vedoucí práce: doc. Ing. Danial Novák, Ph.D.
Analýza a interpretace biomedicínských dat FEL

Abstract

The subject of this thesis is an extension of a serious game MyDiabetic with a sensor for continuous glucose monitoring and an insulin pump.

The thesis discusses properties and limitations of these two diabetic aides and describes design and implementation of their game models for the purpose of integrating into the game MyDiabetic.

The extended game was qualitatively tested on 9 children of age 7 to 16 years with type I diabetes. The testing proved that proposed game models and their control are intuitive and correspond with real products. Feedback from the testing was used for improvements in user interface.

Keywords: MyDiabetic, Diabetes mellitus, Android, iOS, Unity, Insulin Pump, CGM sensor

Title translation: Design of Insulin Pump Simulator

Obsah

Úvod	1	4 Implementace	27
1 Diabetes mellitus	3	4.1 Senzor kontinuálního monitorování glykémie	27
1.1 Rozdělení diabetu	3	4.2 Inzulínová pumpa	30
1.2 Terapie diabetu	6	5 Testování	33
1.3 Komplikace diabetu	9	5.1 Uživatelské testování	33
2 Regulace glykémie	13	5.2 Výsledky uživatelského testování	34
2.1 Aplikace inzulínu	14	Závěr	37
2.2 Monitorování glykémie	14	Literatura	39
2.3 Řídící algoritmy	17	A Zadání práce	47
2.4 Přehled současných produktů . .	19	B Seznam použitých zkratk	49
3 Hra MyDiabetic	21	C Slovníček pojmů	51
3.1 Hry jako nástroj motivace a podpory léčby diabetu	21	D Dotazník před testováním	55
3.2 Koncept hry MyDiabetic	23	E Dotazník po testování	57
3.3 Technické provedení hry	24	F Průběh samostatného testování	59

Obrázky

1.1 Typy diabetu u dětí a dospívajících	4
2.1 Systém regulace glykémie	13
2.2 Schéma two-compartment modelu	16
2.3 Schéma push-pull modelu	16
3.1 Graf scén ve hře MyDiabetic	25
4.1 Aplikace senzoru	30
4.2 Scény kontroly senzoru CGM	30
4.3 Aplikace inzulinové pumpy	32
4.4 Scéna infuze inzulinu	32
5.1 Věková pyramida účastníků testování	35
5.2 Zastoupení metod léčby	35
5.3 Poměrné zastoupení inzulinových pump a per.	35
5.4 Poměrné zastoupení výrobců senzorů CGM	36
5.5 Poměrné zastoupení výrobců inzulinových pump	36

Tabulky

1 Počet léčených diabetiků v ČR	2
1.1 Hodnoty glykovaného hemoglobinu	8
1.2 Výměnné jednotky v potravinách	8
1.3 Program edukace rodiny diabetického dítěte	9
2.1 Srovnání rychlosti absorpce inzulinu a inzulinové akce	14
3.2 Denní režim postavy ve hře MyDiabetic	23
3.1 Přehled diabetických her	26
4.1 Klesání kvality kalibrace	28
4.2 Určení trendu	29
4.3 Kroky aplikace senzoru	29
4.4 Kroky aplikace inzulinové pumpy	31



Úvod

Diabetes mellitus, česky úplavice cukerná, lidově cukrovka, je nemoc, která ve většině případů svým pacientům změni život navždy. V České republice má celkový počet diabetiků rostoucí trend, viz tabulka 1. Ve světě je odhadován celkový počet diabetiků na 463 miliónů ve věku 20–79 let, přibližně 9,3% obyvatelstva této věkové skupiny. V roce 2030 je předpovězený nárůst na 578 miliónů (10,2%) a do roku 2045 na 700 miliónů (10,9%). Většina diabetiků, přibližně 90% trpí diabetem mellitus druhého typu, který patří mezi civilizační onemocnění a je spojen s vyšším věkem a nezdravým životním stylem. Většina zbylých diabetiků má diabetes mellitus prvního typu, což je autoimunitní onemocnění, které se zpravidla projevuje ve velmi nízkém věku [8].

Před rokem 1921, kdy byl objeven inzulin, byl diabetes mellitus prvního typu neléčitelný [32]. Od samotného objevu inzulinu ale terapie značně pokročila. Dnešní špičková léčba nabízí automatické podávání inzulinu pomocí podkožních infuzí, které si pacient sám aplikuje. Díky chytrým podkožním senzorům mohou diabetici zjišťovat stav glykémie i bez nepříjemného odběru krve.

Nicméně léčba diabetu od pacientů vyžaduje vysokou míru samostatnosti, znalostí a motivace. Zejména pro nejmladší diabetiky je výzvou porozumět své nemoci a naučit se s ní žít. Jedním ze způsobů, jak toho dosáhnout, je zapojení edukace o diabetu do videoher [9, 10].

Jedna taková hra, MyDiabetic, vzniká pod záštitou doc. Ing. Daniela Nováka, Ph.D. První verze byla vydána v roce 2016, a podílela se na ní řada

Rok	Léčení diabetici celkem
2006	758 528
2007	754 961
2008	773 561
2009	783 321
2010	806 230
2011	825 382
2012	841 227
2013	861 647
2014	859 829
2015	858 010
2016	861 450

Tabulka 1: Počet léčených diabetiků v ČR v letech 2006 - 2016. Data převzata z ČSÚ¹.

studentů [42–46]. Tématem této práce je rozšíření hry MyDiabetic o výše zmíněné pomůcky pro léčbu diabetu: inzulinovou pumpu a senzor kontinuálního měření glykémie. Další čtyři studenti pracovali na jiných rozšířeních, modulech, této hry. Jejich témata jsou:

1. *ketoacidóza* a nemoc,
2. aplikace *glukagonu* a vliv rychlých cukrů oproti pomalým,
3. příběhová linie,
4. stárnutí postavy.

■ Struktura textu

Text je rozdělen na 5 kapitol. První kapitola se zaměří na nemoc diabetes mellitus, její typy, léčbu a krátkodobé a dlouhodobé komplikace s ní spojené. V druhé kapitole jsou rozebrány metody automatické regulace glykémie. Na ty navazují technologie inzulinových pump a senzorů kontinuálního monitorování glykémie. Třetí kapitola se zabývá hrou MyDiabetic, jejím konceptem a technickým provedením. Ve čtvrté kapitole je popsána implementace vyrobeného rozšíření hry MyDiabetic. Poslední kapitola je věnována průběhu kvalitativního testování na cílové skupině, dětech s diabetem prvního typu, a shrnuje poznatky v něm nabyté.

¹<https://vdb.czso.cz/vdbvo2/>

Kapitola 1

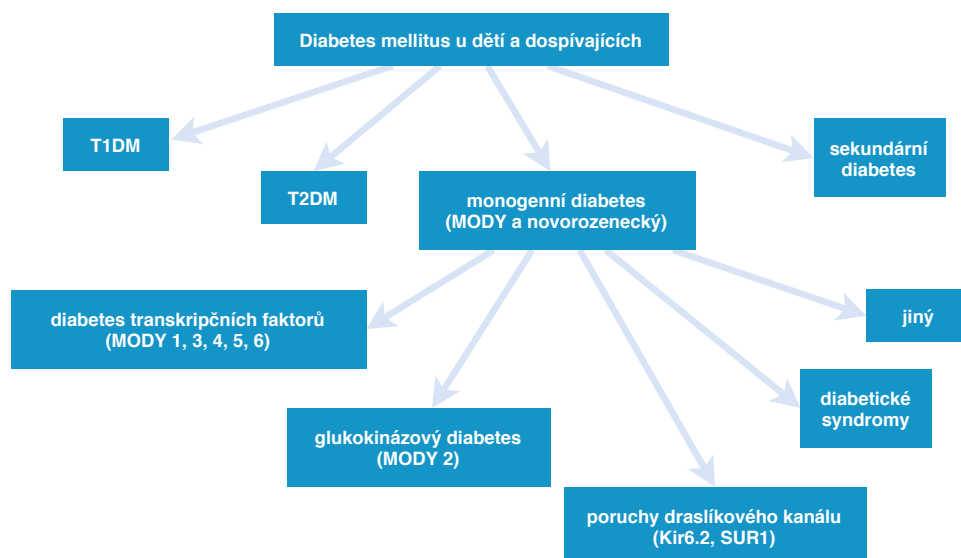
Diabetes mellitus

Diabetes mellitus je označení pro chronické onemocnění projevující se vysokými koncentracemi cukru v krvi (*hyperglykémie*) a absolutním nebo relativním nedostatkem *inzulinu* [32, s. 208]. Následující text se věnuje této nemoci, jejím typům, komplikacím a léčbě.

1.1 Rozdělení diabetu

Podle příčin vzniku rozdělujeme více typů tohoto onemocnění. Nejrozšířenějším typem je diabetes mellitus II. typu, který patří mezi *civilizační onemocnění*¹, který bývá spojený s vyšším věkem a do velké míry nezdravou životosprávou. Oproti tomu u dětí převažuje diabetes mellitus I. typu, který je autoimunitním onemocněním. Přehled diabetu u dětí a dospívajících je zobrazen na obrázku 1.1. Správná identifikace diabetu je nutná pro vhodnou léčbu a dlouhodobou prognózu nemoci.

¹Civilizační onemocnění jsou nemoci vznikající v důsledku změny životního stylu zapříčiněného rozvojem civilizace [7]



Obrázek 1.1: Typy diabetu u dětí a dospívajících. Převzato z [32, s. 208].

■ Diabetes mellitus I. typu

Jedná se o nejzávažnější formu diabetu. Je způsobena autoimunitní destrukcí β -buněk ve slinivce břišní. Tyto buňky produkují v těle inzulin, hormon nutný pro transport molekul glukózy přes buněčnou membránu. Bez inzulinu se glukóza hromadí v krvi, a její vysoká koncentrace má patologické účinky na organismus, a nedostává se do cílových buněk. Nejčastěji toto onemocnění začíná v dětství a pacienti si jej nesou do dospělosti.

Podle rozdílných incidencí v jednotlivých zemích (například v Makedonii 3,6 nových případů na 100 000 dětí za rok, nebo ve Finsku 65 nových případů na 100 000 dětí za rok [32, s. 208]) je zřejmé že velký vliv na rozvoj tohoto onemocnění má genetická predispozice. Nicméně v posledních 20 let u nás incidence stoupla na více než dvojnásobek. Tento nárůst je vyvolán faktory prostředí, které zatím neumíme přesně identifikovat. Spolehlivá metoda prevence ani definitivního vyléčení zatím není známa. Pacienti jsou odkázáni na dlouhodobou inzulinovou léčbu spojenou s monitorováním *glykémie* (koncentrace glukózy) a změnou životního stylu [32, s. 209]. V dalších kapitolách se bude odkazovat právě na tento typ.

■ Diabetes mellitus II. typu

Diabetes mellitus II. typu je způsobený stoupající inzulinovou rezistencí, kterou vlastní produkce inzulinu nepřekoná a po čase se vyčerpá. Donedávna se jednalo o onemocnění dospělého či staršího věku. Nicméně epidemie dětské obezity způsobuje, že postihuje i adolescentní pacienty. Pro diabetes II. typu jsou typické obezita, laboratorní a klinické projevy inzulinové rezistence a pozitivní rodinná anamnéza. U postižených je vysoké riziko časného vývoje komplikací diabetu [32, s. 213].

■ Monogenně podmíněné

V poslední době bylo objeveno více jak dvě desítky genů, které ovlivňují funkci β -buněk. Monogenní porucha² může způsobit 2–3% všech onemocnění diabetem. Mezi tato onemocnění patří *MODY* (maturity-onset diabetes of the young), které se dědí autosomálně dominantně³ [32, s. 214].

Další typ je tzv. novorozenecký diabetes, který bývá diagnostikován do 6 měsíců věku. Může být dočasný, který v řádech týdnů vymizí, nebo permanentní [32, s. 215].

Mezi monogenně podmíněné se počítají i tzv. diabetické syndromy, které pouze doplňují komplexní zdravotní problém.

Posledním zástupcem této skupiny diabetu je diabetes mellitus spojený s cystickou fibrózou⁴, kde je celá slinivka, včetně β -buněk, postižena původním onemocněním a tak vzniká porucha sekrece inzulinu [32, s. 215].

²Monogenní onemocnění je způsobeno mutací jednoho genu a vnějšími vlivy jsou ovlivněny minimálně [4].

³Autosomálně dominantní dědičnost se týká genů nepohlavních chromosomů (autosomů). Na fenotypu se projeví sledovaný znak u heterozygotů méně závažně a u dominantních homozygotů velmi těžce [2, 3].

⁴Cystická fibróza je život ohrožující dědičná nemoc. Projevuje se chronickým onemocněním dýchacích cest a plic [32, s. 439].

■ Sekundární diabetes

Nejčastější formou sekundárního diabetu je steroidní diabetes, zapříčiněný dlouhodobou léčbou kortikosteroidy, které zvyšují inzulínovou rezistenci. Steroidní diabetes může být přechodný a ustupuje po skončení steroidní terapie [32, s. 215].

■ Gestační diabetes mellitus

Jedná se o přechodný stav u těhotných žen, který ve většině případů po porodu odezní. V průběhu posledních desetiletí je ale zaznamenán nárůst, který je způsoben vyšším věkem těhotenství a nezdravým životním stylem. Neléčený gestační diabetes poškozuje plod a vede ke komplikacím při porodu. Může přejít v diabetes II. typu [5].

■ 1.2 Terapie diabetu

Diabetes mellitus I. typu zatím neumíme vyléčit. Pomocí vhodné terapie je ale možné vliv chybějící inzulínu dodávat a vliv diabetu kompenzovat. Cílem léčby je dosažení hodnot glykémie zdravého organismu. Glykémii ovlivňuje dvojice hormonů: inzulín a *glukagon*. Inzulín umožňuje buňkám příjem cukru, čímž snižuje glykémii. Je vylučován po jídle. Glukagon stimuluje tvorbu glukózy, což glykémii zvyšuje. Je vylučován při hladovění.

■ Inzulínová terapie

Základem terapie je dlouhodobá aplikace inzulínu tak, aby co nejdříve kopírovala přirozenou funkci slinivky. Od jeho objevu v roce 1921 bylo vyvinuto mnoho typů inzulínu lišící se dobou účinnosti a rychlostí vstřebávání. Pro nejlepší nahrazení fungování slinivky se používá tzv. systém bazal–bolus. Bazální dávka zajišťuje dlouhodobou hladinu inzulínu v krvi. Bolusové dávky se podávají nárazově před jídly, aby kompenzovaly nárůst glykémie [49].

Inzulín se podává pomocí injekcí nebo pomocí inzulínové pumpy. Při

používání injekcí se pro bazální hladinu inzulínu podává jednou či dvakrát denně dlouhodobě působící inzulín nebo inzulínový analog. Pro bolusové dávky se využívá rychle působící inzulín nebo inzulínový analog [32, s. 212].

Při používání inzulínové pumpy se využívá pouze rychle působící inzulín. Pro zajištění bazální hladiny se trvale vypouští v malém množství. Bolusové dávky se pak podávají manuálně.

Celková denní dávka inzulínu se určuje empiricky a individuálně. Děti v průměru potřebují $0,6-0,8 \text{ IU/kg/den}$. V průběhu puberty se dávka zvyšuje, v průměru na $1,0-1,5 \text{ IU/kg/den}$. V dospělosti se opět sníží [32, s. 212].

■ Monitorování

Okamžitou kontrolou inzulínové léčby je monitorování glykémie. Glykémii je třeba měřit pravidelně 3–4krát denně, vždy před hlavním jídlem a před spaním, a v naléhavých situacích, např: při podezření na hypoglykémii nebo hyperglykémii.

Pro měření se používá glukometr, který vyhodnocuje glykémii z kapičky krve z prstu. Alternativou k odebírání krve jsou kontinuální senzory glykémie, které jsou schopné měřit glykémii neustále po dobu několika dní. Pomocí nich lze snadněji předcházet nežádoucím stavům a lépe přizpůsobovat léčbu. Blíže se sensorům kontinuálního monitorování glykémie věnuje kapitola 2.

Další metodou monitorování je sledování ketolátek, například v moči (*ketonurie*). Měřit by se měly každé ráno, protože jejich nízká koncentrace indikuje noční hypoglykémii. Zároveň při hyperglykémii může pomoci odhalit začínající *diabetickou ketoacidózu*.

Ukazatelem dlouhodobé úspěšnosti léčby diabetu je glykovaný hemoglobin (*HbA_{1C}*). Vzniká nevratnou reakcí hemoglobinu a glukózy v krvi. Udává se v poměru vůči celkovému hemoglobinu, buď v procentech nebo pomocí jednotek *mmol/mol*. Jeho množství odráží glykémii za posledních 4–8 týdnů. Referenční meze jsou vypsány v tabulce 1.1 [32, 49].

hned po diagnóze diabetu. V tabulce 1.3 je popsán úvodní týdenní program pro rodinu diabetického dítěte. Postupně se ale diabetik musí naučit řešit i další komplikovanější problematiky, například diabetes při nemoci nebo v průběhu puberty.

DEN 1	Co je to diabetes? příčiny vzniku diabetu (vyvrácení obav ze zavinění rodičů), základní principy léčení diabetu, význam edukace pro léčení diabetu, psychoterapie <i>(provádí lékař)</i>
DEN 2	inzulin, druhy inzulínů a jejich působení, inzulínové injekce, místa vpichu <i>(provádí edukační sestra)</i>
DEN 3	opakování 2. dne, inzulínové pero, odběr glykémie, vyšetřování glykémie glukometrem, vyšetřování moči <i>(provádí edukační sestra)</i>
DEN 4	opakování 1. dne, vztah inzulínu, jídla a tělesného pohybu, hypoglykémie, příčiny, příznaky, léčení <i>(provádí lékař)</i>
DEN 5	opakování 2. a 3. dne, strava při diabetu, naše základní živiny, výměnná jednotka, jídelní plán, „diabetické“ potraviny, náhradní cukry a umělá sladidla <i>(provádí nutriční terapeutka)</i>
DEN 6	opakování 4. a 5. dne, ketonurie, ketoacidóza, diabetes v nemoci, základní strategie monitorování glykémie a úpravy dávek inzulínu, kritéria kompenzace diabetu, komplikace diabetu <i>(provádí lékař)</i>
DEN 7	opakování 6. dne, škola, sport, prázdniny, sociální problematika, terapie po propuštění, plán ambulantního sledování <i>(provádí lékař)</i>

Tabulka 1.3: Program edukace rodiny diabetického dítěte, převzato z [32, s. 210].

1.3 Komplikace diabetu

Diabetes mellitus se projevuje neschopností organismu regulovat glykémii. Extrémní hodnoty glykémie (nízké i vysoké) způsobují organismu potíže, nehledě na to, co bylo příčinou glykemického extrému. Tyto komplikace mohou být akutní nebo chronické.

■ Hypoglykémie

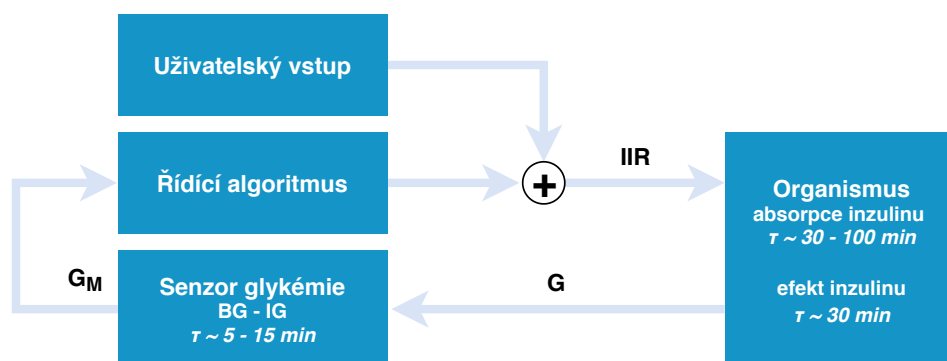
Hypoglykémie je stav, kdy glykémie klesne pod hodnotu cca 4 mmol/l (přesná hodnota závisí na každém pacientovi). Vzniká nadbytkem inzulínu v krvi. Nejčastější příčinou je vynechané nebo málo vydatné jídlo, neobvyklá fyzická námaha, nadměrná dávka inzulínu a alkohol. Symptomy bývají slabost, třes rukou, pocení, zmatenost, bušení srdce a dravý hlad. Diabetici bývají adaptovaní a tyto symptomy počínající hypoglykémie nemusí pociťovat.

Lehčí hypoglykémie je léčitelná podáním cukru nebo např. sladké limonády. Těžkou hypoglykémií provází ztráta vědomí až smrt [32, s. 212].

Kapitola 2

Regulace glykémie

Cíl léčby diabetu spočívá v regulaci glykémie k normálním hodnotám zdravého organismu. V této kapitole se budeme zabývat automatizací této regulace, která se nabízí díky rozvoji bioinženýrství. Systém regulace glykémie se skládá ze tří komponent - podání inzulínu, monitorování glykémie a řídicího algoritmu, viz obrázek 2.1. Těmto komponentám budou věnovány následující části textu. Na konci této kapitoly jsou popsány v současnosti dostupné produkty.



Obrázek 2.1: Systém regulace glykémie společně se zpožděními (τ) způsobené vlastnostmi organismu. IIR je míra infuze inzulínu, viz 2.1, G je glykémie, G_M je měřená glykémie, viz 2.2. Systém obsahuje dopřednou vazbu pomocí uživatelského vstupu pro bolusové dávky inzulínu.

2.1 Aplikace inzulínu

Existují tři základní metody aplikace inzulínu: nitrožilní, intraperitoneální¹ a podkožní. První metoda je z pohledu rychlosti absorpce inzulínu nejefektivnější, avšak je limitována invazivitou a cévními komplikacemi způsobenými srážením krve a hromaděním inzulínu, které může vést k vybudování rezistence [48].

Druhá metoda má několik výhod vůči zbylým dvěma. Zejména reprodukovatelnost absorpce inzulínu, rychlý nárůst do píku a návrat k základní hladině a odezva glukagonu v reakci na hypoglykémii a tělesnou námahu. Avšak kvůli přílišné invazivitě a drahé implantaci se standardem stala třetí varianta [48].

Největší výhoda podkožní kontinuální inzulínové infuze (*CSII*, continuous subcutaneous insulin infusion) spočívá ve snadné aplikaci. Jejím klíčovým nedostatkem je zpoždění způsobené pomalou absorpcí inzulínu. Srovnání rychlosti absorpce a inzulínové akce pro jednotlivé metody je v tabulce 2.1. Použitím rychlejšího inzulínu je možné snížit zdržení až na přibližně 50 minut [47]. U ostatních metod nelze použít rychlejší inzulín kvůli nebezpečí jeho hromaděním a vybudování rezistence. Zdržení mezi aplikací inzulínu a jeho efektem může vést až ke ketoacidóze [48].

Metoda aplikace	Doba absorpce [min]	Doba akce [min]
nitrožilní	0	30
intraperitoneální	40	30
podkožní	120	30

Tabulka 2.1: Srovnání rychlosti absorpce regulárního inzulínu a inzulínové akce pro nitrožilní, intraperitoneální a podkožní aplikaci inzulínu, data převzata z [47, 48]

2.2 Monitorování glykémie

Monitorování glykémie je nejvíce limitující faktor ve vývoji uzavřeného systému. Existují totiž dvě koncentrace glukózy v těle. První je glykémie, tedy koncentrace glukózy v krevní plazmě (*BG*, blood glucose). Druhá je koncentrace glukózy v mezibuněčném prostoru (*IG*, interstitial glucose) [39].

¹Intraperitoneální podání znamená injekce nebo infuze do břišní dutiny.

Pro správnou funkci pracuje systém s hodnotou BG. Problém spočívá v obtížnosti kontinuálního měření BG. Pro kontinuální monitorování je nutné aplikovat nitrožilní senzor, což vyžaduje rozsáhlý a, pro dlouhodobé sledování příliš invazivní a rizikový, zákrok. Oproti tomu měření IG, kde stačí zavést podkožní senzor, je prakticky bez rizika a komplikací. Tuto aplikaci je diabetik schopen provést snadno sám [50].

■ Model koncentrace glukózy

Závislost IG a BG je hojně studována. Experimentálně bylo zjištěno, že mezi BG a IG existuje časový a velikostní gradient [26, 40]. Časový gradient (nebo zpoždění) je nezávislé na aktuální hodnotě glykémie a jejím průběhu a nabývá hodnot od 5 do 25 minut [35, 36, 38, 39]. Rozdíl velikosti je také variabilní. Při nárůstu BG je nárůst IG nižší a při poklesu BG je pokles IG vyšší [34, 39].

Existuje několik modelů BG a IG, zatím ale není žádný všeobecně přijímaný. Tyto modely stojí na předpokladech [40]:

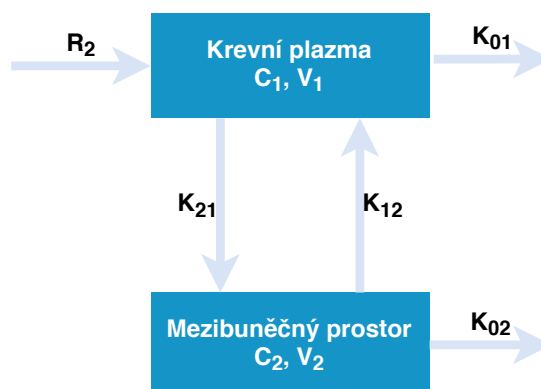
1. existence volné difuze molekul glukózy mezi krevní plazmou a mezibuněčným prostorem,
2. odběr glukózy z mezibuněčného prostoru okolními buňkami.

Základní model popisuje mezibuněčný prostor a krev jako dvě nezávislá oddělení (*two-compartment model*) [1], mezi kterými probíhá volná difuze na základě gradientu koncentrací. Zároveň buňky odebírají z mezibuněčného prostoru glukózu. Koncentrace mezibuněčné glukózy lze poté popsat pomocí následující rovnice:

$$\frac{dC_2}{dt} = -(K_{02} + K_{12})C_2 + K_{21}\frac{V_1}{V_2}C_1 \quad (2.1)$$

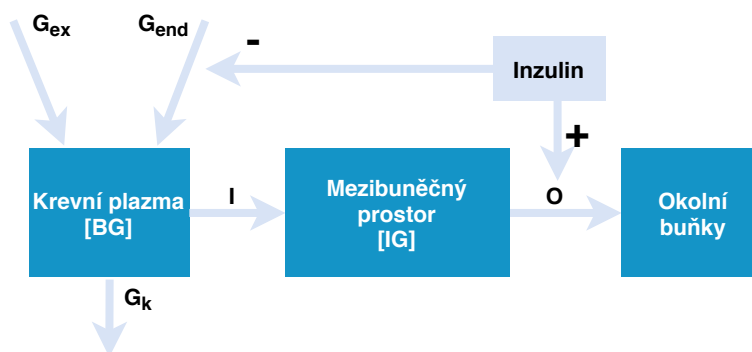
kde C_1 a C_2 je koncentrace glukózy v krevní plazmě a mezibuněčném prostoru, V_1 a V_2 je objem krevní plazmy a mezibuněčného prostoru, konstanty K_{12} a K_{21} popisují míru přímého a reverzního toku difuze a konstanta K_{02} popisuje míru odběru glukózy buňkami. Vztah těchto veličin je schématicky zobrazen na obrázku 2.2. Tento model vysvětluje pozorované zpoždění a rozdíl v hodnotách mezi BG a IG. Jeho zásadním nedostatkem je ale předpoklad, že

difuze a odběr molekul glukózy je popsatelný použitými konstantami. Avšak pozorování ukazují, že tyto procesy jsou v čase proměnné [40].



Obrázek 2.2: Schéma two-compartment modelu. $C_{1,2}$, koncentrace glukózy v krevní plazmě a mezibuněčném prostoru, $V_{1,2}$ objemy krevní plazmy a mezibuněčného prostoru, $K_{12,21}$ je míra přímého a reverzního toku glukózy mezi krví a mezibuněčným prostorem, K_{01} je míra vylučování glukózy a K_{02} je míra odběru glukózy buňkami, R_a je míra příjmu glukózy.

Jiný model je založen na *push-pull* efektu [31, 41]. Schéma je vidět na obrázku 2.3. Nárůstem BG vzniká gradient koncentrace v krvi vůči mezibuněčnému prostoru, což vybudí difuzní proud (*push*) mezi krví a mezibuněčným prostorem. Zpoždění IG vůči BG bude větší. Odběr glukózy z mezibuněčného prostoru okolními buňkami sníží IG, čímž se vytvoří gradient mezi krví a mezibuněčným prostorem, který opět vybudí difuzní proud (*pull*). V tomto případě bude zpoždění IG vůči BG menší.



Obrázek 2.3: Schéma push-pull modelu, přebráno z [41]. G_{ex} je exogenní glukóza, G_{end} je endogenní glukózy, G_k je vylučování glukózy, I je tok glukózy z krve do mezibuněčného prostoru, O je tok glukózy z mezibuněčného prostoru do buňky. Inzulin snižuje přísun G_{end} a zároveň zvyšuje tok O .

■ Kalibrace senzoru

Kalibrace senzoru CGM má ideálně kompenzovat vliv prostředí na citlivost senzoru a dynamiku BG a IG. Vliv prostředí na senzor se zpravidla projeví driftem zisku elektrického proudu. Hlavním faktorem těchto změn je imunitní reakce, kterou senzor prodělá po aplikaci [27–29]. Dynamika BG a IG již byla probírána v předchozích částech textu.

Kalibrace senzoru se skládá z tovární a uživatelské. Tovární probíhá při výrobě za použití standardizovaným etalonů. Uživatelská se počítá z okamžitých hodnot BG, které pacient měří sám pomocí glukometru.

Pro kompenzaci výše popsaných vlivů existuje množství algoritmů a metod (využití *kalmanova filtru*², *lineární* i *robustní regrese*³ nebo *autoregresivních modelů*⁴), které s větším či menším úspěchem vylepšují přesnost senzoru a snižují zpoždění [30].

Hlavní požadavky pro vlastnosti algoritmu navíc spočívají ve výpočetní jednoduchosti pro minimalizaci procesního zdržení a nízkého množství kalibračních bodů. Snižováním počtu kalibračních bodů se zvyšuje komfort pacienta. Dnešní senzory již pracují s kalibračními algoritmy, které vyžadují kalibraci jednou či dvakrát denně. Současným trendem je dokonce postup k senzorům bez nutnosti uživatelské kalibrace. Senzory bez uživatelské kalibrace ale mohou zavádět chybu kvůli odchylkám způsobenými individualitou jednotlivých pacientů [30].

■ 2.3 Řídící algoritmy

Pro regulaci glykémie bylo testováno velké množství algoritmů. Všechny jsou založené na zpětnovazebním řízení doplněném dopřednou vazbou. Dopředná vazba se využívá pro dávkování bolusového inzulínu. Je iniciována uživate-

²Kalmanův filtr je statistická metoda pro určení aktuálního stavu na základě znalosti předchozího stavu a nepřesného odhadu [25]

³Lineární regrese spočívá v odhadu parametrů pomocí řešení přeuročené soustavy lineárních rovnic. Nevýhodou lineární regrese je náchylnost na tzv. *outliery*, data lišící se od ostatních pozorování. Metody robustní regrese jsou vůči nim odolnější [53].

⁴Autoregresivní model předpokládá, že výstupní proměnné jsou lineárně závislé na svém předchozím stavu a nějaké stochastické funkci. Výsledný model je ve formě stochastické diferenciální rovnice [24]

lem vždy před jídlem. V klinickém využití jsou dvě hlavní skupiny řídicích algoritmů [47, 47].

■ Regulátory

Základním a osvědčeným regulátorem systému je PID regulátor, který se skládá ze tří složek: proporcionální, integrační a derivační. Pro účel regulace glykémie můžeme rovnici PID regulátoru napsat takto:

$$IIR(t) = K_p (G(t) - G_{ref}) + K_I \int_0^t (G(\tau) - G_{ref}) d\tau + K_D \frac{dG(t)}{dt} \quad (2.2)$$

kde $IIR(t)$ je míra inzulínové infuze (insulin infusion rate), neboli akční vstup do systému, v čase t , K_P , K_I a K_D jsou koeficienty proporční, integrační a derivační složky. Proporční složka funguje jako zesílení, integrační složka umožňuje eliminaci offsetu, derivační složka umožňuje pracovat s prudkými změnami ve sledované veličině. Pro regulaci lze použít pouze části PID regulátoru. Vzniknou pak PI či PD regulátory. G_{ref} je referenční nebo cílová glykémie, $G(t)$ je glykémie v čase t [47].

PID je osvědčený regulátor pro řízení systémů. Je ale čistě reaktivní. Při vstupu senzorů v reálném čase se nejedná o zásadní limitaci, avšak při regulaci glykémie nepracujeme s hodnotami v reálném čase, ale s proměnlivým zpožděním. Proto se PID regulátor dá použít pouze ve spojení s nitrožilním senzorem glykémie [50].

■ Prediktivní řízení

Druhou skupinou řídicích algoritmů jsou modelově prediktivní ovladače (*MPC*, model predictive control). Jejich základní složkou je model řízeného systému, díky kterému předvídají jeho vývoj a na základě této predikce určují akční vstup [50].

MPC algoritmus pracuje na principu dlouhodobé strategie. V každém kroku, každých cca 15 minut, na základě minulých dat a modelu budoucích dat

vytvoří strategii několika kroků dopředu, ale pouze první krok, tedy cca 15ti minutový profil inzulínové infuze, se uskuteční. Predikovaná glykémie je často jiná, než reálně naměřená nebo může nastat nenadálá událost, např. příjem rychlých cukrů. Tyto události se projeví v dalším kroku. Tvorba dlouhodobé strategie je nutná, protože povaha systému neumožňuje příliš rychlé změny. Efekt aplikovaného inzulínu nastupuje s velkým zpožděním a regulátor tak nemůže plánovat v příliš krátkém časovém horizontu. Rozšířením může být strojové učení. Algoritmus se postupně přizpůsobuje svému pacientovi a upravuje svůj interní model pro přesnější predikci glykémie [48].

■ 2.4 Přehled současných produktů

Existuje více výrobců inzulínových pump a senzorů CGM. Patří mezi ně firmy, které všechny své výrobky vytváří uzavřené a kompatibilní pouze mezi sebou a firmy, jejich výrobky jsou modulární a lze je vzájemně kombinovat. Standardem je dnes bezdrátová komunikace senzoru CGM s pumpou, integrovaný glukometr pro usnadnění kalibrace a ovládání pomocí mobilních aplikací.

■ Systém MiniMed 640G

MiniMed 640G je inzulínová pumpa od firmy Medtronic. Kromě standardní dlouhodobé infuze bazálního inzulínu sleduje aktivní inzulín, což poté využívá při výpočtu doporučené bolusové dávky (funkcionalita se nazývá *Bolus Wizard*) [23]. MiniMed je kompatibilní se senzory CGM *Enlite* a *Guardian Sensor 3*, také od firmy Medtronic. Společně poskytují funkci SmartGuard, která spočívá v zastavení výdeje inzulínu v případě hrozby hypoglykémie [22]. Celý systém lze doplnit glukometrem *Contour Plus Link*, který po změření glykémie automaticky posílá naměřenou hodnotu to senzoru CGM pro kalibraci [21].

■ Omnipod

Inzulínová pumpa *Omnipod*, od firmy Insulet, je jediný model inzulínové pumpy, který nepotřebuje žádné hadičky. Nevýhoda tohoto přístupu spočívá v malém zásobníku inzulínu, který nevydrží déle než 72 hodin. Omnipod je

kompatibilní se senzorem CGM *FreeStyle Libre*. Pumpa je ovládána separátním ovladačem, který zároveň může fungovat jako čtečka pro *FreeStyle Libre* [20].

■ Dexcom

Senzor CGM *Dexcom G6*, od firmy Dexcom, vydrží měřit až 10 dní. Je jedním z modelů, které nevyžadují kalibraci. Mezi jeho přednosti patří plně přizpůsobitelný systém upozornění. Je kompatibilní s inzulínovými pumpami Tandem a Omnipod. Data ze senzoru je možné číst pomocí speciální čtečky nebo mobilní aplikace dostupné pro systémy Android i iOS [16].

■ FreeStyle Libre

FreeStyle Libre, od firmy Abbott, je velmi malý senzor CGM. Má životnost čtrnáct dnů a není třeba jej kalibrovat. Hodnoty se odečtou naskenováním speciální čtečkou. Samotný senzor má kapacitu pro osm hodin záznamů [17].

■ Dana Diabecare R, RS a IIS

Dana Diabecare patří mezi nejmenší a nejlehčí inzulínové pumpy. Ovládají se tlačítky přímo na pumpě, přes mobilní aplikaci pro systémy Android a iOS nebo, v případě RS, pomocí samostatného ovladače, který zároveň obsahuje glukometr [19].

■ t:slim X2

t:slim X2, od firmy Tandem, je inzulínová pumpa malých rozměrů, která nabízí integraci se senzorem glykémie Dexcom G6. Používá dva kontrolní algoritmy pro svou funkci. *Control-IQ* je hybridní uzavřený systém, který předchází variabilitě glykémie. Vyžaduje od uživatele detailní informace o jídle, spánku a fyzické námaze. *Basal-IQ* pomáhá předcházet hypoglykemické události. Ovládání pumpy je možné přes dotykový displej nebo pomocí mobilní aplikace pro systémy Android i iOS [18].

Kapitola 3

Hra MyDiabetic

Pro úspěšnou kompenzaci diabetu je zásadní motivace a edukace pacienta. Pacient musí detailně porozumět vztahu mezi stravou, fyzickou námahou, inzulinem a glykemií. Zároveň musí důsledně dodržovat režim pravidelného monitorování glykémie a aplikace inzulinu. V případě dětí a dospívajících se často jedná o obtížný úkol. Hned v prvním týdnu, během hospitalizace, po diagnostikování diabetu je pacient a jeho rodina edukována ve vzniku a terapii diabetu. Velmi rychle se musí z pacienta stát odborník na léčbu diabetu, aby byl schopen správně reagovat na každou situaci. Hra MyDiabetic, které se věnuje následující kapitola, vznikla právě za účelem edukace a motivace mladých diabetiků. V první části se zabýváme vlivem her na motivaci a podporu léčby diabetu. Poté se věnujeme konceptu a obsahu hry MyDiabetic. Nakonec se zaměříme na technické provedení pomocí herního enginu Unity.

3.1 Hry jako nástroj motivace a podpory léčby diabetu

Přesná definice hry je velmi obtížná. V knize *The Art of Game Design* [12] je hra charakterizována nekompletním seznamem těchto vlastností:

1. Hry jsou dobrovolné.
2. Hry mají cíle.
3. Hry obsahují konflikt.
4. Hry mají pravidla.
5. Hry mohou být vyhrány a prohrány.

6. Hry jsou interaktivní.
7. Hry obsahují výzvy.
8. Hry vytvářejí vlastní vnitřní hodnotu.
9. Hry zapojují hráče.
10. Hry jsou uzavřené, formální systémy.

Zpočátku učení a hra nejsou pro dítě odlišitelné. Postupně se však tyto dvě aktivity rozlišují a nakonec se zdá, že hra se zábavou vylučuje učení a naopak. Opětovným sloučením učení a hry, respektive zapojením edukativních cílů do her, vzniká tzv. *seriózní hra* [11]. Jak napovídají výše vypsané vlastnosti hry, existuje nepřeborné množství možností, jak toho dosáhnout.

Potenciál her a interaktivních digitálních technologií pro řešení některých zdravotních a psychických problémů je již dobře zmapovaný [10, 51, 52]. Je prokázáno, že využití těchto postupů pro edukaci a motivaci léčby diabetu pomáhá s úspěšnou léčbou [9]. Vzniklo velké množství her cílených na edukaci pacientů diabetu prvního i druhého typu. Různé výčty obsahují tyto práce [10, 42, 43, 45]. V následující části textu jsou rozebrány některé nejnovější hry vzniklé za posledních 5 let a zároveň dostupné v ČR. Jejich přehled a srovnání se hrou MyDiabetic a staršími stále dostupnými hrami je v tabulce 3.1.

■ Jerry the Bear

Ve hře Jerry the Bear hráč pečuje o medvídko Jerryho trpící diabetem prvního typu. Hráč provádí standardní úkony diabetické samosprávy - měření glykémie pomocí glukometru i CGM, aplikace inzulínu perem i pumpou, sestavování jídelníčku apod. Kromě kompenzace diabetu má za úkol připravit Jerryho na velkou soutěž. Edukační prvky jsou integrovány pomocí jednotlivých herních aktivit, které jsou navrženy podle reality. Hra je dostupná pro systémy iOS i Android [56].

■ MC:T1

Jedná se o rozšíření populární hry Minecraft. Hráč musí kontrolovat svou glykémii, příjem potravy a inzulínu. Při správné regulaci glykémie získává hráč speciální schopnosti - může vidět ve tmě, rychlejší běh aj. Hypoglykemií a hyperglykemií ale tyto schopnosti ztrácí a je ovlivněn různými postiženími. Hra učí propojení glykémie, jídla, inzulínu a fyzické námahy [57].

3.2 Koncept hry MyDiabetic

Hra MyDiabetic má, mimo jiné, za cíl edukovat začínající diabetiky a naučit je základním postupům používaným při řešení potíží spojených s diabetem. Hráč vystupuje jako pečovatel o postavičku, které byl diagnostikován diabetes prvního typu. Adam nebo Ema, dle výběru hráče, má svůj byt, který se skládá ze čtyř místností: kuchyně, koupelny, obývacího pokoje a ložnice. V těchto místnostech se odehrává většina hry [42, 45].

Hlavní kostrou hry je dodržování denního režimu postavy, viz tabulka 3.2. Postavičce je třeba ve správný čas měřit glykémii, aplikovat inzulín a podávat jídlo. Za provedené akce získává hráč peníze a zkušenosti. Za peníze může koupit pro postavu nové oblečení, nábytek do bytu a diabetické pomůcky. Při nashromáždění dostatku zkušeností postoupí postava na vyšší úroveň, čímž se jí odemknou nové předměty.

Pro postup na vyšší úroveň je také možné splnit speciální úkoly, jejichž složitost s rostoucí úrovní stoupá. Takovým úkolem může být například udržení glykémie v cílovém rozmezí po dobu 3 hodin. Za splnění těchto úkolů získá postava větší množství zkušeností [44].

Čas	Událost	Úkol
6:00	Snídaně	změřit glykémii, aplikovat inzulín (7 IU), podat jídlo (4 VJ)
9:00	Svačina	podat jídlo (1 VJ)
11:30	Oběd	změřit glykémii, aplikovat inzulín (7 IU), podat jídlo (5 VJ)
15:00	Svačina	podat jídlo (1 VJ)
18:00	Večeře	změřit glykémii, aplikovat inzulín (7 IU), podat jídlo (4 VJ)
21:00	Druhá večeře	podat jídlo (1 VJ), aplikovat dlouhodobý inzulín (14 IU)

Tabulka 3.2: Denní režim postavy ve hře MyDiabetic

■ 3.3 Technické provedení hry

■ Vývojové prostředí Unity

Unity3D je herní engine umožňující multiplatformní vývoj her. Základním kamenem hry vytvořené v Unity jsou *herní objekty* (GameObject). Tyto objekty v sobě obsahují informace pro renderování a lze k nim připojit různé komponenty, které upravují jejich vlastnosti a chování. Jedním z nejdůležitějších komponent jsou uživatelem napsané skripty implementující samotnou funkcionalitu hry [13].

Herní objekty se sdružují ve stromu. Jednomu takovému stromu se říká *scéna* (Scene). Scéna může být jedna úroveň ve hře nebo hlavní menu. Pouze objekty ve stejné scéně mohou společně interagovat. Celá scéna se renderuje pomocí jedné nebo více kamer [14, 15].

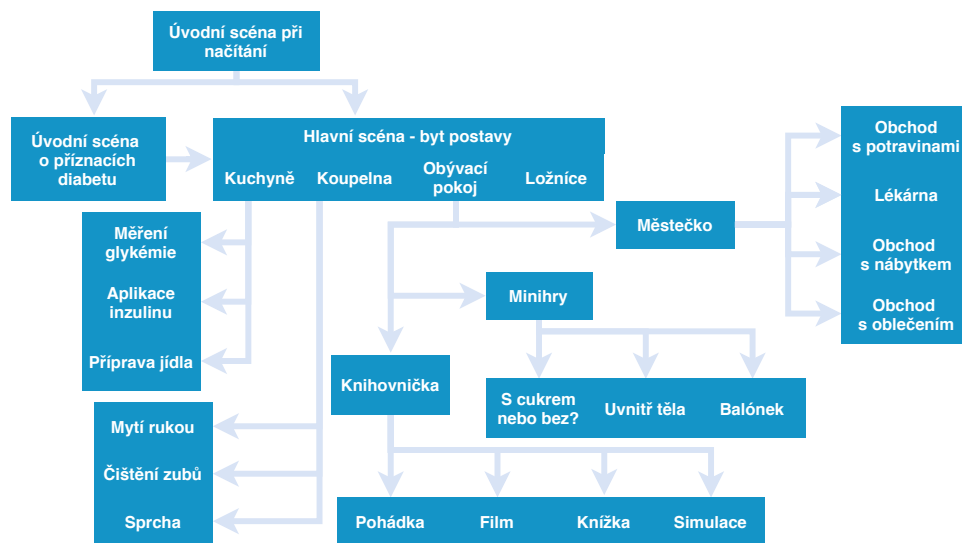
Herní objekty jsou vytvářeny při načtení své scény a jsou zničeny při načtení jiné scény. Tento přístup má mnoho výhod, zejména modularitu scén. Nicméně je možné sdílet herní objekty napříč scénami, což je vhodné pro objekty nesoucí skripty, které spravují hru jako celek [14, 15].

■ Implementace hry

Hra MyDiabetic se skládá ze základní scény, která obsahuje byt postavičky. Jsou v ní rozmístěny čtyři místnosti - kuchyně, koupelna, obývací pokoj a ložnice. Dále existují scény pro jednotlivé aktivity, které hráč může provádět. Na obrázku 3.1 je graf všech vyrobených scén se základními přestupy mezi nimi.

Herní mechanika je implementovaná centrálně pomocí sdíleného správce hry. Správce hry pracuje s rozsáhlým stavovým automatem. Tento automat obsahuje všechny možné stavy, které mohou ve hře nastat. Přechody mezi stavy jsou závislé na provedených akcích a uběhlém čase. Díky stavovému automatu je snadné provedení například nápovědy pro hráče. Každý stav má své optimální řešení a nápovědu k němu.

Důležitou součástí hry je model glykémie. Pro hru byl zvolen systém



Obrázek 3.1: Graf scén ve hře MyDiabetic

AIDA (An Education Simulator for Insulin Dosage and Dietary Adjustment in Diabetes). Průběh glykémie je vzorkován každých patnáct minut. Zbylé hodnoty se počítají pomocí lineární interpolace těchto vzorků [42, 43].

Jméno hry	Platforma	Stažení	Hodnocení	Cukry v jídle	Regulace glykémie	Měření glykémie	Aplikace inzulínu	Komplikace diabetu
Jerry the Bear	Android, iOS	1000+	88% / 43	ano	ano	glukometr, CGM	pero, pumpa	hyperglykémie, hypoglykémie
MC:T1	rozšíření hry Minecraft	—	—	ano	ano	—	—	hyperglykémie, hypoglykémie
MyDiabetic	Android, iOS*	500+	90% / 34	ano	ano	glukometr, CGM*	pero, pumpa*	hyperglykémie, hypoglykémie, ketoacidóza*
Carb Counting with Lenny	Android, iOS	100 000+	78% / 253	ano	ne	—	—	—

Tabulka 3.1: Přehled diabetických her. Počet stažení a hodnocení podle internetového obchodu Google Play^a z 9.8.2020. Hodnocení je psáno v procentech s celkovým počtem recenzí. Cukry v jídle – indikuje zda hra učí které potraviny obsahují kolik cukrů, Regulace glykémie – hra učí vztah mezi jídlem, inzulínem a glykémií. Monitorování glykémie - hra učí způsoby monitorování glykémie, Aplikace inzulínu – hra učí způsoby aplikace inzulínu. Komplikace diabetu – hra učí o vypsaných komplikacích. Připravené funkcionality jsou označeny (*).

^a<https://play.google.com/>

Kapitola 4

Implementace

Hra MyDiabetic (viz kapitola 3) byla rozšířena o možnost využití senzoru CGM a inzulinové pumpy. Na prvních úrovních má hráč k dispozici pouze glukometr a inzulinové injekce. Na vyšších úrovních se mu odemkne možnost využití senzoru CGM a později i inzulinové pumpy. Tato kapitola popisuje použité modely těchto zařízení a jejich integraci do zbytku hry.

4.1 Senzor kontinuálního monitorování glykémie

Popis modelu

Senzor CGM je standardní podkožní senzor, který reálně měří koncentraci glukózy v mezibuněčném prostoru. Z jádra hry je k dispozici průběh BG a aktivního inzulinu v krvi. Pro získání IG je potřeba namodelovat dva vlivy, které do měření glykémie pomocí podkožního CGM senzoru vnáší dynamika BG – IG, a to zpoždění a absolutní hodnotu. Zároveň je nutné pamatovat na vliv kalibrace, která dokáže snížit zpoždění a prakticky odebrat rozdíl absolutní hodnoty.

Kalibrace senzoru spočívá ve změření glykémie (pomocí glukometru) a zadání této hodnoty do správy senzoru CGM. Při kalibraci se spočítá tzv. kvalita

kalibrace, která se získá pomocí následujícího vzorce:

$$k = \max \left\{ 0; \frac{9}{10} - \frac{1}{1 + |G_k - G_r|} \right\} \quad (4.1)$$

kde k je kvalita kalibrace, G_k je glykémie použitá pro kalibraci a G_r je reálná glykémie. k nabývá hodnot od 0 do 1. Čím nižší hodnota, tím kvalitnější kalibrace. Pro vůbec nekalibrovaný senzor je k rovno 1. Pokud se při kalibraci použije měření glykémie s chybou menší než 0,1 mmol/l, je kvalita k stále rovna 0. Kvalita kalibrace se zároveň snižuje se stářím kalibrace dle tabulky 4.1.

Stáří kalibrace [h]	Efekt
0 až 10	k zůstává konstantní
10 až 12	k roste rychlostí 0,05/h do maximální hodnoty 1
12 a více	k roste rychlostí 0,1/h do maximální hodnoty 1

Tabulka 4.1: Klesání kvality kalibrace

Hodnota k se projeví dvěma způsoby: při výpočtu šumu a míry nepřesnosti způsobené znečistivěním senzoru. Celková chyba způsobená špatnou kalibrací se spočítá pomocí následující rovnice:

$$\hat{G}(k, G, t) = k \cdot \sin\left(t \frac{2\pi}{60}\right) + \begin{cases} (4,5 - G)k & G \leq 4.5 \\ (G - 7,5)k & G \geq 7.5 \\ 0 & \text{jinak} \end{cases} \quad (4.2)$$

kde t je aktuální čas v minutách, G je měřená glykémie bez chyby. První část rovnice simuluje chybu způsobenou šumem. Šum je modelován pomocí sinusové funkce s periodou 60 minut. Tato funkce byla vybrána, protože je modelován kalibrační algoritmus, který šum vyhlazuje a proto byl šum nahrazen spojitou funkcí. Z druhé části rovnice vidíme, že při vyšší glykémii špatná kalibrace způsobí naměření nižší hodnoty a při nižší glykémii způsobí naměření vyšší hodnoty.

Aktuální hodnota glykémie měřená pomocí senzoru CGM se spočítá následujícím vzorcem:

$$G_{CGM}(k, t) = G(t - \tau) + \hat{G}(k, G(t - \tau), t) \quad (4.3)$$

kde funkce $G(t)$ popisuje průběh glykémie a τ je použité zpoždění. V modelu je pevná hodnota zpoždění, a to 7 minut.

Kromě aktuální hodnoty vyhodnocuje senzor i trend glykémie. Trend určuje pomocí rozdílu mezi aktuální hodnotou a hodnotou před 15 minutami. Podle tabulky 4.2 rozlišuje 7 různých trendů. Mezní hodnoty jsou určeny podle komerčních senzorů CGM [54, 55].

Změna glykémie [mmol/l/min]	Trend
-0,167 a méně	velmi rychlé klesání
-0,167 až -0,111	rychlé klesání
-0,111 až -0,056	pomalé klesání
-0,056 až 0,056	konstantní
0,056 až 0,111	pomalé stoupání
0,111 až 0,167	rychlé stoupání
0,167 a více	velmi rychlé stoupání

Tabulka 4.2: Určení trendu

■ Popis ovládání

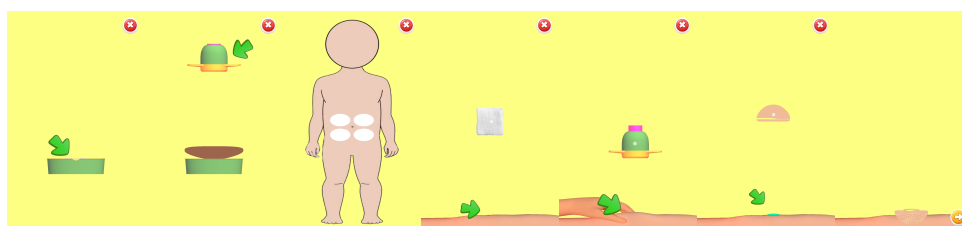
Pro správu senzoru CGM jsou vyrobené 3 scény: aplikace senzoru, kalibrace senzoru a čtení dat. Postup aplikace senzoru je popsán v tabulce 4.3 a ilustrační obrázky jsou na 4.1. Podoba senzoru a postup jeho aplikace byly inspirovány výrobkem FreeStyle Libre (viz 2.4).

Číslo kroku	Úkol	Popis gesta
1	rozbalit balení	klepnout na krabičku obsahující senzor, náplast a dezinfekční gázu
2	nabít aplikátor	přetáhnout aplikátor do krabičky na senzor
3	vybrat místo aplikace	klepnout na vybrané místo na těle
4	dezinfikovat místo	táhnout dezinfekční gázy po kůži
5	aplikovat senzor	přetáhnout aplikátor na kůži
6	upevnit senzor	přetáhnout náplast přes senzor

Tabulka 4.3: Kroky aplikace senzoru kontinuálního monitorování glykémie

Podoba scény kalibrace senzoru je zobrazená na obrázku 4.2a. Scéna obsahuje displej ovladače. V horní části je aktuální měřená glykémie, společně s jejím trendem a aktuálním časem. Ve spodní části je textové pole, do kterého hráč vepíše aktuální glykémii, společně s hláškou upozorňující hráče na stav kalibrace senzoru.

Třetí scénou obsluhy senzoru je čtení dat. Pod hlavičkou leží graf, který zobrazuje průběh glykémie za posledních 8 hodin (viz obrázek 4.2b).



Obrázek 4.1: Aplikace senzoru kontinuálního monitorování glykémie. Otevření balení, nabití aplikátoru, výběr místa, dezinfekce místa, spuštění aplikátoru, zajištění senzoru.



(a) : Kalibrace senzoru

(b) : Měření glykémie pomocí senzoru

Obrázek 4.2: Scény kontroly senzoru CGM

4.2 Inzulínová pumpa

Popis modelu

Inzulínová pumpa ve hře odpovídá základnímu typu dostupných pump. Používá podkožní infuzi inzulínu, který aplikuje po malých dávkách každých 10 minut. Získává informace ze senzoru CGM a v případě hrozící hypoglykémie zastaví infuzi inzulínu. Hrozbu hypoglykémie vyhodnotí pomocí lineární extrapolace průběhu glykémie za 10 minut.

Velikost bolusové dávky inzulínu zadává hráč ručně. Celá dávka se podává v jednom okamžiku. Podle typu jídla pumpa hráči nabízí doporučené množství inzulínu. Zároveň v případě hyperglykémie je hráči nabídnuta kompenzační dávka vypočítaná pomocí vzorce:

$$I = \frac{G - G_{ref}}{C} \quad (4.4)$$

kde I je počet jednotek inzulínu, G a G_{ref} je aktuální a referenční glykémie, C je citlivost na inzulín. Tyto funkcionality jsou součástí základní hry.

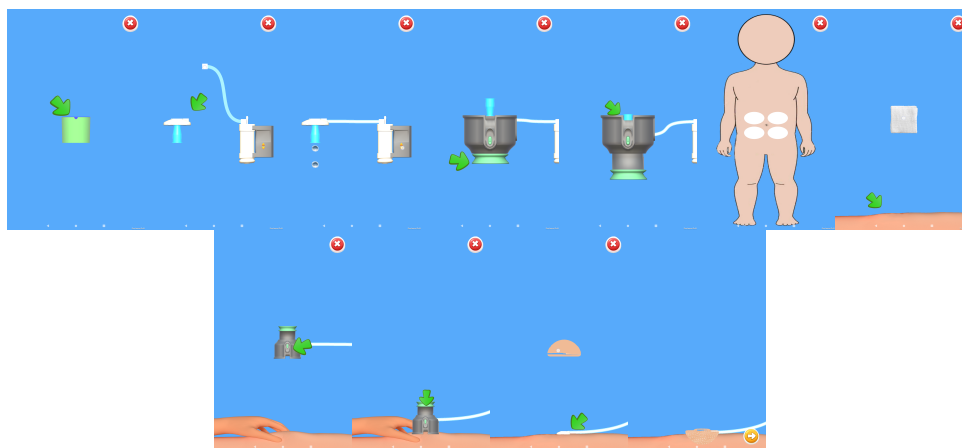
■ Popis ovládání

Pro práci s inzulínovou pumpou byly vytvořeny dvě scény. V první scéně se zavádí nový infuzní set. Seznam kroků pro aplikaci je v tabulce 4.4 a průběh je zobrazen na obrázku 4.3. Modely použité ve scéně a princip aplikace je inspirovaný výrobky firmy Medtronic (viz 2.4).

Číslo kroku	Úkol	Popis gesta
1	rozbalit balení	klepnout na krabičku obsahující infuzní set, náplast a dezinfekční gázu
2	sestavit pupu	přetáhnou konec hadičky od rezervoáru k infuznímu setu
3	vytlačit vzduch z hadičky	držet tlačítko na rezervoáru, dokud nezačnou odkapávat kapky inzulínu z infuzního setu
4	nabít aplikátor	klepnout na horní část aplikátoru
5	sundat kryt jehly	klepnout na kryt jehly
6	vybrat místa aplikace	klepnout na vybrané místo na těle
7	dezinfikovat místo	táhnout dezinfekční gázy po kůži
8	přiložit aplikátor	přetáhnout aplikátor na kůži
9	spustit aplikátor	klepnout na tlačítko aplikátoru
10	upevnit infuzní set	přetáhnout náplast přes infuzní set

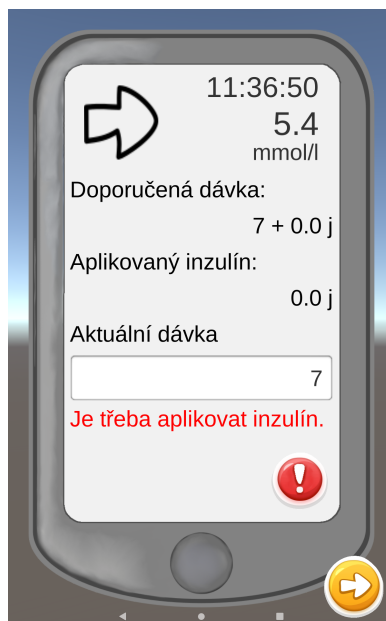
Tabulka 4.4: Kroky aplikace inzulínové pumpy

Druhou scénou je scéna infuze inzulínu (viz obrázek 4.4). Scéna obsahuje doporučenou bolusovou dávku inzulínu. Ta se skládá ze dvou částí: z



Obrázek 4.3: Aplikace inzulinové pumpy. Otevření balení, sestavení pumpy, vytlačení vzduchu, nabití aplikátoru, odebrání krytu jehly, výběr místa, dezinfekce místa, přiložení aplikátoru, spuštění aplikátoru, zajištění infuzního setu.

inzulinu potřebného pro kompenzaci nejbližšího hlavního jídla a inzulinu potřebného pro kompenzaci aktuální hyperglykémie. Zobrazí se jako součet $I_{\text{jídlo}} + I_{\text{hyperglykémie}}$. Dále obsahuje množství již aplikovaného inzulinu, které se nuluje před každým hlavním jídlem, a textové pole, kam hráč vepíše jím požadovanou dávku inzulinu pro aplikaci.



Obrázek 4.4: Scéna infuze inzulinu

Kapitola 5

Testování

V této kapitole se budeme věnovat testování hry a samotného modulu. Hra byla testována již v průběhu vývoje členy týmu. Cílovou skupinou ale představují děti, ve věku 6 až 15 let, kterým byl diagnostikován diabetes. V závěru projektu bylo tedy nutné provést testování i na nich. V důsledku koronavirové situace se práce projekt protáhla. A tak bylo možné navštívit letní tábor pro diabetiky a kvalitativně otestovat i s dalšími dvěma členy týmu tři nové moduly společně.

5.1 Uživatelské testování

Hlavním cílem testování bylo zjistit, zda je ovládání nových částí intuitivní, zda odpovídá realitě, a objevit nejzávažnější chyby. Zároveň je pro celý projekt důležitá zpětná vazba z celé hry.

Na začátku testování jsme byli představeni skupině 30 dětí. Společně jsme ukázali celou hru a popsali jednotlivé nové moduly. Poté se děti rozdělily na 3 skupiny, kde každá měla zkoušet jeden modul. V rámci menších skupin jsme společně prošli tutoriálem. Tutoriál je poměrně dlouhý a pokud by jím měl procházet každý účastník zvlášť, trvalo by testování příliš dlouho.

Poté každý účastník vyplnil dotazník (viz příloha D). Po vyplnění dotazníku účastníci jednotlivě zkoušeli samotnou hru. Hru testovali na tabletu *Lenovo*

TB-4705L s operačním systémem *Android v. 9*. Při této části byla nahrávaná obrazovka tabletu a zvuk, což velmi pomohlo při zpětné analýze.

Každý účastník měl při zkoušení hry provést následující úkoly:

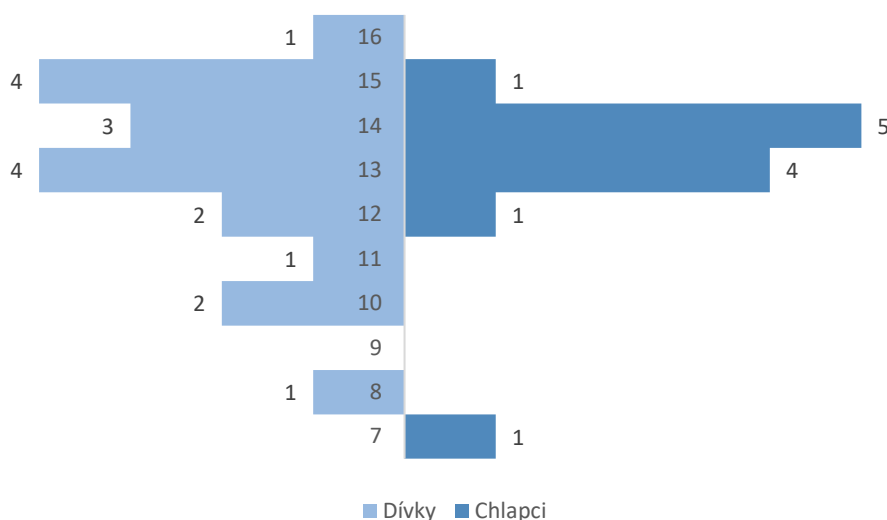
1. aplikovat senzor glykémie,
2. aplikovat infuzní set inzulinové pumpy,
3. zkalibrovat senzor,
4. prožít část dne za pomoci senzoru a pumpy (tedy několikrát zjistit glykémii pomocí senzoru a aplikovat inzulin pomocí pumpy).

Po splnění těchto úkolů a v rámci 4. úkolu si účastníci měli vyzkoušet i další části hry. Po samostatném testování jsem si s každým účastníkem o hře promluvil, přičemž kostru rozhovoru tvořil dotazník, (viz příloha E).

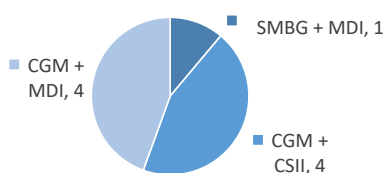
5.2 Výsledky uživatelského testování

Celého testování se zúčastnilo 30 účastníků ve věku 7 až 15 let. Z toho 18 dívek a 12 chlapců. Věkové rozložení je vidět na obrázku 5.1. Všichni měli diabetes prvního typu.

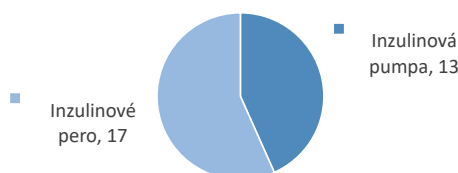
Modul senzoru CMG a inzulinové pumpy testovalo dohromady 9 účastníků, z toho 7 dívek a 2 chlapci. V rámci rozhovoru po testování jsem zjišťoval zda a který typ senzoru CGM a inzulinové pumpy používají. Zastoupení výrobců senzorů a pump je vidět na obrázcích 5.4 a 5.5. Nejrozšířenějším výrobcem je firma Medtronic. Na obrázku 5.2 je vidět, že kontinuální monitorování glykémie drtivě převažuje. Naproti tomu, jak je vidět i na obrázku 5.3, využití inzulinových pump nepřevyšuje užívání inzulinových per.



Obrázek 5.1: Věková pyramida účastníků testování



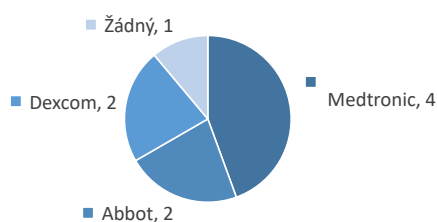
Obrázek 5.2: Zastoupení metod léčby. *CGM* – kontinuální monitorování glykémie, *MDI* – několikanásobné denní injekce, *SMBG* – samostatné monitorování glykémie, *CSII* – kontinuální podkožní inzulinová infuze



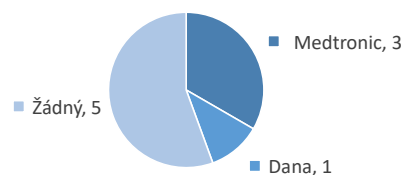
Obrázek 5.3: Poměrné zastoupení inzulinových pump a per.

Z testování vyplynula jedna chyba při aplikaci inzulinové pumpy, která umožňovala přeskočit kroky 2–4 (viz. tabulka 4.4) aplikace inzulinové pumpy. Úpravou animací byla tato chyba odstraněna.

Dále vyplynul problém při sestavení pumpy (krok 2), a to propojení rezervoáru s infuzním setem pomocí hadičky. Bylo obtížné přijít na to, jak vytáhnout konec hadičky z rezervoáru a trefit na správné místo na infuzním setu. Také nebyla dostatečně intuitivní možnost vytlačit vzduch z hadičky pomocí dlouhého stisku tlačítka na rezervoáru.



Obrázek 5.4: Poměrné zastoupení výrobců senzorů CGM



Obrázek 5.5: Poměrné zastoupení výrobců inzulinových pump

Tento problém by bylo možné vyřešit pomocí krátkého úvodu, ve kterém by se hráči vysvětlil postup sestavení pumpy. Úvod by se přehrál při první aplikaci pumpy. Zároveň by se mohlo přidat tlačítko nápovědy, které by po stisknutí zobrazilo dialog s popisem dalšího kroku.

Dalším problémem byla scéna infuze inzulinu. Ze zmatení účastníků v průběhu testování vyplývá, že je nepřehledná, účastníci nevěděli, kolik jednotek inzulinu mají aplikovat. Celá tato scéna by se měla přeorganizovat, aby byly hráči potřebné informace lépe představeny.

Samotný modul inzulinové pumpy a senzoru kontinuálního monitorování glykémie byl hodnocen pozitivně a oceňován pro svou reálnost. Účastníkům ale ve hře scházely některé komplikace, které s pumpou a senzorem mohou nastat. První byla nutnost odpojování infuzního setu od rezervoáru před vstupem do vody, další možnost zalomení a ucpání hadičky pumpy a nakonec doplňování inzulinu do rezervoáru.

Celá hra měla mezi účastníky úspěch. Většina však již má diabetes delší dobu a tak pro ně hra nebyla tak edukační. Doporučili by ji však svým známým, kteří s diabetem nemají zkušenost a mohla by jim tak přiblížit celou problematiku.



Závěr

Plně automatický systém pro regulaci glykémie u diabetiků zatím neexistuje. Avšak inzulinové pumpy a senzory kontinuálního monitorování glykémie v současnosti patří mezi nejvíce vyvíjené pomůcky pro kompenzaci diabetu. A to i přes své limity: zpoždění v absorpci inzulínu a měření glykémie.

Edukace a motivace i nadále hrají v léčbě diabetu velmi důležitou roli. Hra MyDiabetic je jednou z mála edukačních her zaměřených na diabetes I. typu dostupných v České republice a češtině. Navíc je výjimečná svým širokým záběrem napříč problematikou diabetu. A jako taková má velký potenciál.

Přidaný senzor CGM ve hře MyDiabetic zahrnuje limitaci reálných produktů. Obsahuje zpoždění a nutnost kalibrace. Nezkalibrovaný senzor měří chybou a má potíže změřit hypoglykémii a hyperglykémii. Inzulinová pumpa pomocí infuze bazální dávky inzulínu úspěšně kompenzuje samovolný nárůst glykémie. Zároveň obsahuje standardní funkcionality reálných výrobků - předpočítávání bolusové dávky inzulínu a inzulin shutoff při hrozbě hypoglykémie.

Ovládání obou zařízení odpovídá reálným produktům a je, až na několik drobností, intuitivní. Při testování se objevil problém při skládání inzulinové pumpy, konkrétně propojení rezervoáru a infuzního setu. Další problém byl při aplikaci bolusové dávky inzulínu. Protože tato scéna není přehledná, žádný z testovacích hráčů nerozpoznal, kolik inzulínu, a jak, má aplikovat.

Další rozvoj této části hry by měl spočívat v napravení výše popsaných problémů, pomocí doplnění slovní nápovědy a přepracování scény infuze

inzulinu, a implementace věcí, které testerům chyběly. Jde zejména o nutnost rozpojení inzulinové pumpy před vstupem do vody, hrozbu zalomení kanyly, vytržení infuzního setu nebo ztrátu senzoru CGM při rychlém pohybu a doplňování rezervoáru inzulinové pumpy.

Dalším krokem ve vývoji celé hry je propojení všech vytvořených rozšíření a novou verzi hry vydat pro systémy *Android* a *iOS*. K dispozici ke stažení by měla být v průběhu září 2020.



Literatura

- [1] REBRIN, Kerstin a Garry M. STEIL. Can Interstitial Glucose Assessment Replace Blood Glucose Measurements? *Diabetes Technology & Therapeutics* [online]. 2000, **2**(3), 461-472 [cit. 2020-08-02]. DOI: 10.1089/15209150050194332. ISSN 1520-9156. Dostupné z: <http://www.liebertpub.com/doi/10.1089/15209150050194332>
- [2] Autosomálně recesivní dědičnost. *WikiSkripta* [online]. Praha: Univerzita Karlova [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Autosom%C3%A1ln%C4%9B_recesivn%C3%AD_d%C4%9Bdi%C4%8Dnost
- [3] Autosomálně dominantní dědičnost. *WikiSkripta* [online]. Praha: Univerzita Karlova [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Autosom%C3%A1ln%C4%9B_dominantn%C3%AD_d%C4%9Bdi%C4%8Dnost
- [4] Monogenně dědičné choroby. *WikiSkripta* [online]. Praha: Univerzita Karlova [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Monogenn%C4%9B_d%C4%9Bdi%C4%8Dn%C3%A9_choroby
- [5] Diabetes mellitus v graviditě. *WikiSkripta* [online]. Praha: Univerzita Karlova [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Diabetes_mellitus_v_gravidit%C4%9B
- [6] Diabetická noha. *WikiSkripta* [online]. Praha: Univerzita Karlova, 2018 [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Diabetick%C3%A1_noha
- [7] Primární prevence nemocí hromadného výskytu. *WikiSkripta* [online]. Praha: Univerzita Karlova [cit. 2020-08-11]. Dostupné z:

https://www.wikiskripta.eu/w/Prim%C3%A1rn%C3%AD_preven%C3%A7n%C3%AD_hromadn%C3%A9ho_v%C3%BDskytu

- [8] DE LAPERTOSA, Silvia Gorban, Andreia Ferreira DE MOURA, Chani DECROUX, et al. *IDF Diabetes Atlas*. 9. ed. Brussels: International Diabetes Federation, 2019. ISBN 978-2-930229-87-4.
- [9] CHEN, Gang, Nilufar BAGHAEI, Abdolhossein SARRAFZADEH, Chris MANFORD, Steve MARSHALL a Gudrun COURT. Designing games to educate diabetic children. In: *Proceedings of the 23rd Australian Computer-Human Interaction Conference on - OzCHI '11* [online]. New York, New York, USA: ACM Press, 2011, 2011, s. 72-75 [cit. 2020-07-31]. DOI: 10.1145/2071536.2071546. ISBN 9781450310901. Dostupné z: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2071536.2071546>
- [10] LIEBERMAN, Debra A. Video Games for Diabetes Self-Management: Examples and Design Strategies. *Journal of Diabetes Science and Technology* [online]. 2012, **6**(4), 802-806 [cit. 2020-07-31]. DOI: 10.1177/193229681200600410. ISSN 1932-2968. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/193229681200600410>
- [11] HARING, Priscilla, Dimitrina CHAKINSKA a Ute RITTERFELD. Understanding Serious Gaming. FELICIA, Patrick, ed. *Handbook of Research on Improving Learning and Motivation through Educational Games* [online]. IGI Global, 2011, s. 413-430 [cit. 2020-07-31]. Advances in Game-Based Learning. DOI: 10.4018/978-1-60960-495-0.ch020. ISBN 9781609604950. Dostupné z: <http://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/978-1-60960-495-0.ch020>
- [12] SCHELL, Jesse. *The Art of Game Design: A Book of Lenses*. Burlington, MA: Elsevier, 2008. ISBN 978-0-12-369496-6.
- [13] Unity. *Unity* [online]. Unity Technologies, c2020 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://unity.com/>
- [14] Unity - Manual: GameObjects. *Unity - Manual* [online]. Unity Technologies, 2020-07 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://docs.unity3d.com/Manual/GameObjects.html>
- [15] Unity - Manual: Scenes. *Unity - Manual* [online]. Unity Technologies, 2020-07 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://docs.unity3d.com/Manual/CreatingScenes.html>
- [16] Dexcom G6 CGM System. *Dexcom* [online]. San Diego, California: Dexcom, c2020 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.dexcom.com/g6-cgm-system>
- [17] FreeStyle Libre. *FreeStyle Libre* [online]. Praha: Abbott, c2020 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.freestylelibre.cz/>

- [18] T:slim X2 Insulin Pump. *Insulin Pumps From Tandem Diabetes* [online]. San Diego, California: Tandem Diabetes Care, c2020 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.tandemdiabetes.com/products/t-slim-x2-insulin-pump>
- [19] Dana Diabecare RS. *SOOIL Development* [online]. Yongin-si: SOOIL Development [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <http://www.sooil.com/eng/product/>
- [20] The Omnipod System. *Omnipod Insulin Management System* [online]. Acton, Massachusetts: Insulet Corporation, c2018-2020 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.myomnipod.com/Omnipod-system>
- [21] Glukometr Contour Plus. *Medtronic Diabetes Česká republika* [online]. Praha: Medtronic International Trading, c2016 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.medtronic-diabetes.cz/kontinualni-monitorace-glukozy/glukometr-contour-next-link-2.4>
- [22] Guardian sensor 3. *Medtronic Diabetes Česká republika* [online]. Praha: Medtronic International Trading, c2016 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.medtronic-diabetes.cz/kontinualni-monitorace-glukozy/guardian-sensor-3>
- [23] Systém MiniMed 640G. *Medtronic Diabetes Česká republika* [online]. Praha: Medtronic International Trading, c2016 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.medtronic-diabetes.cz/lecba-inzulinovou-pumpou/system-minimed-640g>
- [24] LEAL, Y., W. GARCIA-GABIN, J. BONDIA, E. ESTEVE, W. RICART, J.-M. FERNANDEZ-REAL a J. VEHI. Real-Time Glucose Estimation Algorithm for Continuous Glucose Monitoring Using Autoregressive Models. *Journal of Diabetes Science and Technology* [online]. 2010, 4(2), 391-403 [cit. 2020-07-27]. DOI: 10.1177/193229681000400221. ISSN 1932-2968. Dostupné z: <http://dst.sagepub.com/lookup/doi/10.1177/193229681000400221>
- [25] KIM, Youngjoo a Hyochoong BANG. Introduction to Kalman Filter and Its Applications. GOVAERS, Felix, ed. *Introduction and Implementations of the Kalman Filter* [online]. IntechOpen, 2019, 2019-5-22 [cit. 2020-07-27]. DOI: 10.5772/intechopen.80600. ISBN 978-1-83880-536-4. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/introduction-and-implementations-of-the-kalman-filter/introduction-to-kalman-filter-and-its-applications>
- [26] REBRIN, Kerstin, Garry M. STEIL, William P. VAN ANTWERP a John J. MASTROTOTARO. Subcutaneous glucose predicts plasma glucose independent of insulin: implications for continuous monitoring. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* [online]. 1999, 277(3), E561-E571 [cit. 2020-07-27]. DOI:

- 10.1152/ajpendo.1999.277.3.E561. ISSN 0193-1849. Dostupné z: <https://www.physiology.org/doi/10.1152/ajpendo.1999.277.3.E561>
- [27] KLUEH, Ulrike, Zenghe LIU, Ben FELDMAN, Timothy P. HENNING, Brian CHO, Tianmei OUYANG a Don KREUTZER. Metabolic Biofouling of Glucose Sensors in Vivo: Role of Tissue Microhemorrhages. *Journal of Diabetes Science and Technology* [online]. 2011, **5**(3), 583-595 [cit. 2020-07-27]. DOI: 10.1177/193229681100500313. ISSN 1932-2968. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/193229681100500313>
- [28] HELTON, Kristen L., Buddy D. RATNER a Natalie A. WISNIEWSKI. Biomechanics of the Sensor-Tissue Interface-Effects of Motion, Pressure, and Design on Sensor Performance and the Foreign Body Response-Part I: Theoretical Framework. *Journal of Diabetes Science and Technology* [online]. 2011, **5**(3), 632-646 [cit. 2020-07-27]. DOI: 10.1177/193229681100500317. ISSN 1932-2968. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/193229681100500317>
- [29] CHRISTIANSEN, Mark, Timothy BAILEY, Elaine WATKINS, David LILJENQUIST, David PRICE, Katherine NAKAMURA, Robert BOOCK a Thomas PEYSER. A New-Generation Continuous Glucose Monitoring System: Improved Accuracy and Reliability Compared with a Previous-Generation System. *Diabetes Technology & Therapeutics* [online]. 2013, **15**(10), 881-888 [cit. 2020-07-27]. DOI: 10.1089/dia.2013.0077. ISSN 1520-9156. Dostupné z: <http://www.liebertpub.com/doi/10.1089/dia.2013.0077>
- [30] ACCIAROLI, Giada, Martina VETTORETTI, Andrea FACCHINETTI a Giovanni SPARACINO. Calibration of Minimally Invasive Continuous Glucose Monitoring Sensors: State-of-The-Art and Current Perspectives. *Biosensors* [online]. 2018, **8**(1) [cit. 2020-07-26]. DOI: 10.3390/bios8010024. ISSN 2079-6374. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2079-6374/8/1/24>
- [31] GROENENDAAL, W., K.A. SCHMIDT, G. VON BASUM, N.A.W. VAN RIEL a P.A.J. HILBERS. Modeling Glucose and Water Dynamics in Human Skin. *Diabetes Technology & Therapeutics* [online]. 2008, **10**(4), 283-293 [cit. 2020-07-25]. DOI: 10.1089/dia.2007.0290. ISSN 1520-9156. Dostupné z: <http://www.liebertpub.com/doi/10.1089/dia.2007.0290>
- [32] LEBL, Jan. *Klinická pediatrie*. 2. vyd. Praha: Galén, c2014. ISBN 978-80-7492-131-5.
- [33] RIZZO, Albert Skip, Belinda LANGE, Evan A. SUMA a Mark BOLAS. Virtual Reality and Interactive Digital Game Technology: New Tools to Address Obesity and Diabetes. *Journal of Diabetes Science and Technology* [online]. 2011, **5**(2), 256-264 [cit. 2020-07-25]. DOI:

- 10.1177/193229681100500209. ISSN 1932-2968. Dostupné z:
<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/193229681100500209>
- [34] BOYNE, M. S., D. M. SILVER, J. KAPLAN a C. D. SAUDEK. Timing of Changes in Interstitial and Venous Blood Glucose Measured With a Continuous Subcutaneous Glucose Sensor. *Diabetes* [online]. 2003, **52**(11), 2790-2794 [cit. 2020-07-25]. DOI: 10.2337/diabetes.52.11.2790. ISSN 0012-1797. Dostupné z: <http://diabetes.diabetesjournals.org/cgi/doi/10.2337/diabetes.52.11.2790>
- [35] BASU, A., S. DUBE, M. SLAMA, et al. Time Lag of Glucose From Intravascular to Interstitial Compartment in Humans. *Diabetes*. 2013, **62**(12), 4083-4087. DOI: 10.2337/db13-1132. ISSN 0012-1797. Dostupné také z: <http://diabetes.diabetesjournals.org/cgi/doi/10.2337/db13-1132>
- [36] BASU, Ananda, Simmi DUBE, Sona VEETTIL, et al. Time Lag of Glucose From Intravascular to Interstitial Compartment in Type 1 Diabetes. *Journal of Diabetes Science and Technology* [online]. 2014, **9**(1), 63-68 [cit. 2020-08-06]. DOI: 10.1177/1932296814554797. ISSN 1932-2968. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1932296814554797>
- [37] SCHMELZEISEN-REDEKER, Günther, Michael SCHOEMAKER, Harald KIRCHSTEIGER, Guido FRECKMANN, Lutz HEINEMANN a Luigi DEL RE. Time Delay of CGM Sensors. *Journal of Diabetes Science and Technology*. 2015, **9**(5), 1006-1015. DOI: 10.1177/1932296815590154. ISSN 1932-2968. Dostupné také z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1932296815590154>
- [38] STEIL, G. M., K. REBRIN, F. HARIRI, S. JINAGONDA, S. TADROS, C. DARWIN a M. F. SAAD. Interstitial fluid glucose dynamics during insulin-induced hypoglycaemia. *Diabetologia*. 2005, **48**(9), 1833-1840. DOI: 10.1007/s00125-005-1852-x. ISSN 0012-186X. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s00125-005-1852-x>
- [39] KULCU, E., J. A. TAMADA, G. REACH, R. O. POTTS a M. J. LESH. Physiological Differences Between Interstitial Glucose and Blood Glucose Measured in Human Subjects. *Diabetes Care*. 2003, **26**(8), 2405-2409. DOI: 10.2337/diacare.26.8.2405. ISSN 0149-5992. Dostupné také z: <http://care.diabetesjournals.org/cgi/doi/10.2337/diacare.26.8.2405>
- [40] SCUFFI, Cosimo. Interstitium versus Blood Equilibrium in Glucose Concentration and its Impact on Subcutaneous Continuous Glucose Monitoring Systems. *European Endocrinology*. 2010, **10**(1), 36-42. DOI: 10.17925/EE.2014.10.01.36. ISSN 1758-3772. Dostupné také z: <http://www.touchendocrinology.com/articles/interstitium-versus-blood-equilibrium-glucose-concentration-and-its-impact-subcutaneous>

- [41] AUSSEDT, B., M. DUPIRE-ANGEL, R. GIFFORD, J. C. KLEIN, G. S. WILSON a G. REACH. Interstitial glucose concentration and glycemia: implications for continuous subcutaneous glucose monitoring. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 2000, **278**(4), E716-E728. DOI: 10.1152/ajpendo.2000.278.4.E716. ISSN 0193-1849. Dostupné také z: <https://www.physiology.org/doi/10.1152/ajpendo.2000.278.4.E716>
- [42] KEJVALOVÁ, Jana. *Návrh seriózní hry pro edukaci dětí trpící diabetes mellitus*. Praha, 2016. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra kybernetiky. Vedoucí práce Ing. Daniel Novák, Ph.D.
- [43] ZUBKOVÁ, Natálie. *Implementation of serious game to support children's education in diabetes mellitus I*. Praha, 2017. Bachelor thesis. Czech technical university in Prague, Faculty of electrical engineering, Department of Control Engineering. Vedoucí práce Doc. Ing. Daniel Novák, Ph.D.
- [44] JENČÍK, Dušan. *Aplikace herních mechanismu do seriózní hry na podporu léčby diabetes mellitus I*. Praha, 2017. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra počítačů. Vedoucí práce Doc. Ing. Daniel Novák, Ph.D.
- [45] ČERNOHORSKÁ, Veronika. *Návrh seriózní hry pro podporu léčby diabetes mellitus*. Praha, 2016. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra počítačové grafiky a interakce. Vedoucí práce Ing. Daniel Novák, Ph.D.
- [46] RUBEŠ, Lukáš. *Implementation of serious game to support children's education in diabetes mellitus I*. Praha, 2017. Diploma thesis. Czech technical university in Prague, Faculty of electrical engineering, Department of cybernetics. Vedoucí práce Ing. Daniel Novák, Ph.D.
- [47] HOVORKA, R. Continuous glucose monitoring and closed-loop systems. *Diabetic Medicine*. 2006, **23**(1), 1-12. DOI: 10.1111/j.1464-5491.2005.01672.x. ISSN 0742-3071. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1464-5491.2005.01672.x>
- [48] COBELLI, Claudio, Eric RENARD a Boris KOVATCHEV. Artificial Pancreas: Past, Present, Future. *Diabetes*. 2011, **60**(11), 2672-2682. DOI: 10.2337/db11-0654. ISSN 0012-1797. Dostupné také z: <http://diabetes.diabetesjournals.org/lookup/doi/10.2337/db11-0654>
- [49] KAREN, Igor. *Diabetes mellitus: doporučený diagnostický a léčebný postup pro všeobecné a praktické lékaře*. Praha: Společnost všeobecného lékařství ČLS JEP, 2005. Doporučené postupy pro praktické lékaře. ISBN 80-903-5730-X.

- [50] KOVATCHEV, Boris. Automated closed-loop control of diabetes: the artificial pancreas. *Bioelectronic Medicine*. 2018, **4**(1). DOI: 10.1186/s42234-018-0015-6. ISSN 2332-8886. Dostupné také z: <https://bioelecmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s42234-018-0015-6>
- [51] RIZZOO, Albert S., Belinda LANGE, Evan A. SUMA a Mark BOLAS. Virtual Reality and Interactive Digital Game Technology: New Tools to Address Obesity and Diabetes. *Journal of Diabetes Science and Technology*. 2011, **5**(2), 256-264.
- [52] RIVA, Giuseppe. The Key to Unlocking the Virtual Body: Virtual Reality in the Treatment of Obesity and Eating Disorders. *Journal of Diabetes Science and Technology*. 2011, **5**(2), 283-292.
- [53] SUSANTI, Y., H. PRATIWI, S. SULISTIOWATI H. a T. LIANA. M ESTIMATION, S ESTIMATION, AND MM ESTIMATION IN ROBUST REGRESSION. *International Journal of Pure and Applied Mathematics* [online]. 2014, **91**(3) [cit. 2020-08-04]. DOI: 10.12732/ijpam.v91i3.7. ISSN 1311-8080. Dostupné z: <http://www.ijpam.eu/contents/2014-91-3/7/>
- [54] KUDVA, Yogish C, Andrew J AHMANN, Richard M BERGENSTAL, James R GAVIN, Davida F KRUGER, L Kurt MIDYETT, Eden MILLER a Dennis R HARRIS. Approach to Using Trend Arrows in the FreeStyle Libre Flash Glucose Monitoring Systems in Adults. *Journal of the Endocrine Society* [online]. 2018, **2**(12), 1320-1337 [cit. 2020-08-04]. DOI: 10.1210/js.2018-00294. ISSN 2472-1972. Dostupné z: <https://academic.oup.com/jes/article/2/12/1320/5181247>
- [55] ALEPPO, Grazia, Lori M LAFFEL, Andrew J AHMANN, Irl B HIRSCH, Davida F KRUGER, Anne PETERS, Ruth S WEINSTOCK a Dennis R HARRIS. A Practical Approach to Using Trend Arrows on the Dexcom G5 CGM System for the Management of Adults With Diabetes. *Journal of the Endocrine Society* [online]. 2017, **1**(12), 1445-1460 [cit. 2020-08-04]. DOI: 10.1210/js.2017-00388. ISSN 2472-1972. Dostupné z: <http://academic.oup.com/jes/article/1/12/1445/4642923>
- [56] Jerry the Bear. *Jerry the Bear* [online]. Sproutel, 2017 [cit. 2020-08-09]. Dostupné z: <https://www.jerrythebear.com/>
- [57] MC:T1: Minecraft for Type 1 Diabetes. *MC:T1*: <https://www.mct1.io/> [online]. Magikraft [cit. 2020-08-09]. Dostupné z: <https://www.mct1.io/>

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hejl** Jméno: **Benjamin** Osobní číslo: **466023**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra kybernetiky**
Studijní program: **Kybernetika a robotika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh simulátoru inzulínové pumpy

Název bakalářské práce anglicky:

Design of Insuline Pump Simulator

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznamte se s problematikou léčby diabetes mellitus a vlivu dlouhodobé motivace (adherence) na správnou kompenzaci diabetes. Dále se seznamte s problematikou léčby této nemoci pomocí inzulínové pumpy a kontinuální měření glykémie.
- 2) Navrhněte a integrujte simulátor inzulínové pumpy do edukační aplikace pro děti trpící diabetes mellitus. Implementaci proveďte v nástroji Unity.
- 3) Proveďte malou pilotní studii (cca 5 uživatelů) a vyhodnoťte užitečnost navržené aplikace.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Giuseppe Riva, The Key to Unlocking the Virtual Body: Virtual Reality in the Treatment of Obesity and Eating Disorders, J Diabetes Sci Technol. 2011 March; 5(2): 283–292
- [2] Skip Rizzo A, Lange B, Suma EA, Bolas M, Virtual reality and interactive digital game technology: new tools to address obesity and diabetes, J Diabetes Sci Technol. 2011 Mar 1;5(2):256-64
- [3] Boris Kovatchev, Automated closed-loop control of diabetes: the artificial pankreas, Bioelectronic Medicine, Volume 4, Article number: 14, 2018
- [4] V. Černohorská, Návrh seriózní hry pro podporu léčby diabetes mellitus, Diplomová práce, ČVUT, 2016

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Daniel Novák, Ph.D., Analýza a interpretace biomedicínských dat FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **10.01.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14.08.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2021**

doc. Ing. Daniel Novák, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Tomáš Svoboda, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Příloha B

Seznam použitých zkratk

IIR	míra inzulínové infuze (Insulin Infusion Rate)
CSII	kontinuální podkožní inzulínová infuze (Continuous Subcutaneous Insulin Infusion)
BG	krvní glukóza (Blood Glucose)
IG	mezibuněčná glukóza (Interstitial Glucose)
CGM	kontinuální monitorování glykémie/glukózy (Continuous Glucose Monitoring)
RT-CGM	kontinuální monitorování glykémie/glukózy v reálném čase (Real-Time Continuous Glucose Monitoring)
MPC	modelově prediktivní ovladače (Model Predictive Control)
AIDA	edukativní simulátor pro inzulínové dávkování a dietní úpravy v diabetu (An Education Simulator for Insulin Dosage and Dietary Adjustment in Diabetes)
MDI	vícenásobná denní injekce (Multiple Daily Injections)
SMBG	samostatné monitorování krvní glukózy (self-monitoring of blood glucose)
VJ	výměnná jednotka, $1 VJ = 10 - 12 g$ sacharózy
IU	mezinárodní jednotka (International Unit), pro inzulín platí $1 IU = 0,0347 mg$ inzulínu

HbA_{1c} glykovaný hemoglobin



Příloha C

Slovníček pojmů

autosomální dědičnost	Autosomální dědičnost se týká genů nepohlavních chromosomů (autosomů). U dominantní alely (verze genu) se na fenotypu projeví sledovaný znak u heterozygotů méně závažně a u dominantních homozygotů velmi těžce. Pro recesivní alely se sledovaný znak projeví pouze u homozygotů.
autoimunitní reakce	Reakce imunitního systému na vlastní organismus. Zpravidla bývá příčinou těžkých onemocnění.
bazální dávka inzulínu	Bazální dávka inzulínu je dávka, která udržuje v krvi základní hladinu inzulínu.
bolusová dávka inzulínu	Bolusová dávka inzulínu je dávka která se podává nárazově před příjmem cukrů.
cystická fibróza	Jedná se o život ohrožující dědičnou nemoc. Projevuje se chronickým onemocněním dýchacích cest.
diabetická nefropatie	Poškození ledvin způsobené chronickou hyperglykemií.
diabetická neuropatie	Poškození nervů způsobené chronickou hyperglykemií.

diabetická retinopatie	Poškození rohovky způsobené chronickou hyperglykemií.
NPH inzulin	Typ inzulinu, který se vstřebává velmi pomalu.
GameObject	Herní objekt v herním enginu Unity. Základní kámen scény.
glukagon	Hormon, který působí „proti“ inzulinu. Z jater uvolňuje zásoby glukózy a zvyšuje tak glykémii.
glukometr	Přístroj pro měření glykémie z krve.
glykosurie	Vylučování glukózy močí.
glykovaný hemoglobin	Vzniká reakcí glukózy s hemoglobinem. Používá se jako ukazatel úspěšnosti kompenzace diabetu.
glykémie	Koncentrace glukózy v krvi.
herní engine	Herní engine je jádro video hry. Většinou obsahuje alespoň implementaci herní smyčky a renderování 2D a 3D grafiky.
hyperglykémie	Stav, kdy glykémie přesáhne přibližně 8 <i>mmol/l</i> .
hypoglykémie	Stav, kdy je glykémie nižší než přibližně 4 <i>mmol/l</i> .
incidence	Počet nově nakažených za nějaký časový úsek.
intraperitoneální	Aplikace účinné látky (injekcí nebo infuzí) do břišní dutiny.
inzulin	Hormon, vyráběný β -buňkami ve slinivce. Umožňuje buňkám přijímat glukózu a snižuje výrobu cukru v játrech.
inzulinová pumpa	Léčební pomůcka, která umožňuje nepřetržitě infuzi inzulinu.
inzulinový analog	Geneticky upravený inzulin se specifickými vlastnostmi, zejména rychlostí absorpce.

ketoacidóza	Metabolická acidóza způsobená zvýšenou koncentrací ketolátek.
ketolátky	Zplodiny metabolismu po zpracování tuků.
metabolická acidóza	Stav ve kterém dochází k poklesu standardních hydrogenuhličitanů.
mezibuněčný prostor	Prostor mezi buňkami, který je vyplněn mezibuněčnou tekutinou.
monogenní onemocnění	Nemoci způsobená mutací jednoho genu. Vnější faktory mají minimální vliv na rozvoj těchto nemocí.
multiplatformní	Vyvíjený program je kompatibilní s více platformami (Windows, macOS, iOS, Android, Linux, ...)
PID regulátor	Regulátor složený ze tří částí - proporční, integrační a derivační.
scéna	Základní jednotka videohry vytvářené pomocí herního enginu Unity
senzor CGM	Senzor kontinuálního monitorování glykémie. Zpravidla podkožní a je schopen měřit glykémii s vysokou frekvencí.
serižní hra	Hra, která má za cíl edukaci.
stavový automat	Množina stavů. Každý stav má svou množinu přechodů do jiného stavu a svůj výstup.
strojové učení	Jedna z metod umělé inteligence. Pomocí získávání zkušeností se upravují parametry vnitřního modelu.
syndrom diabetické nohy	Jedna z chronických komplikací diabetu způsobená chronickou hyperglykemií.
výměnná jednotka	Jednotka používaná při sestavování jídelního plánu diabetiků. $1 VJ = 10-12 g$ sacharózy.

Příloha D

Dotazník před testováním

1. Věk?
2. Pohlaví?
 - a. Dívka
 - b. Chlapec
 - c. Nechci uvést
3. Máš diabetu?
 - a. Ano, I. Typu
 - b. Ano, II. Typu
 - c. Ne
4. Pokud ne, tak v kolik letech ti byl diagnostikován (diabetes)?
5. Pokud máš diabetes, používáš inzulínové pero nebo pumpu?
 - a. Pero
 - b. Pumpu
6. Máš chytrý telefon?
 - a. Ano
 - b. Ne
7. Používáš chytrý telefon?
8. Pokud ano, tak se systémem Android nebo iOS?

9. Přibližně v kolika letech jsi začal používat mobilní telefon?
10. Hraješ na mobilním telefonu hry?
11. Kterou platformu preferuješ pro hraní her?
 - a. Mobilní telefon
 - b. PC
 - c. Herní konzole - PlayStation, XBox, apod.
 - d. Nehraji videohry
12. Jak často hraješ na mobilním telefonu hry?
 - a. Nehraji
 - b. $1 \times - 3 \times$ měsíčně
 - c. $1 \times - 3 \times$ týdně
 - d. Každý den nebo téměř každý den
13. Hrál jsi už nějakou hru, která byla pro diabetiky nebo s touto tematikou?
 - a. Ano
 - b. Ne
14. Jaký typ hry hraješ rád? (Můžeš označit více možností)
 - a. Adventury
 - b. Akční hry
 - c. Skákačky
 - d. Logické
 - e. Simulátory
 - f. Sportovní hry
 - g. Jiné (Uveď jaké)
15. Kde nejčastěji hraješ hry?
 - a. Doma
 - b. Ve škole
 - c. Na cestách (MHD, auto, vlak...)
 - d. Jinde
16. Jak se dozvídáš o nových hrách?
17. Od kolika let hraješ hry?
18. Souhlasí tvoji rodiče s tím, že hraješ hry?
19. Víš, co je intro/tutoriál hry?

Příloha E

Dotazník po testování

1. Pokud používáš senzor CGM, jaký typ?
2. Pokud používáš inzulínovou pumpu, jaký typ?
3. Co se ti líbilo na aplikaci CGM senzoru?
4. Co se ti nelíbilo na aplikaci CGM senzoru?
5. Co se ti líbilo na obsluze CGM senzoru?
6. Co se ti nelíbilo na obsluze CGM senzoru?
7. Co se ti líbilo na aplikaci infuzního setu inzulínové pumpy?
8. Co se ti nelíbilo na aplikaci infuzního setu inzulínové pumpy?
9. Co se ti líbilo na obsluze inzulínové pumpy?
10. Co se ti nelíbilo na obsluze inzulínové pumpy?
11. Chybí ve hře nějaký aspekt života s CGM senzorem nebo s inzulínovou pumpou?
12. Líbila se ti hra? Co se ti líbilo, co se ti nelíbilo?
13. Měl jsi ve hře s něčím problémy?
14. Co by se na hře dalo vylepšit?

Příloha F

Průběh samostatného testování

Informace o každém testování jsou rozděleny na tři části. První část jsou základní informace o testerovi. Druhá část popisuje průběh testování z pohledu vývojáře. Třetí část obsahuje zhodnocení testovaných oblastí a celé hry testerem.

■ První tester

Základní informace: Prvním testerem byl třináctiletý chlapec, který má diabetes I. typu od svých devíti let. Používá inzulinové pero. Vlastní chytrý telefon už od svých 7 let a hrává na něm hry. Preferuje však hrát hry na herních konzolích.

Průběh: Neměl problémy se základními herními mechanismy a snadno se zorientoval ve hře. Měl ale problém s pohybem při propojování infuzního setu a rezervoáru hadičkou. Ve stejné scéně poté našel i chybu způsobující zpřeházení a přeskočení kroků 2–4 při aplikaci infuzního setu. Jako jednoho z mála jej napadlo si před kalibrací senzoru změřit glykémii pomocí glukometru.

Zhodnocení: Hra se testerovi velmi líbila. Jelikož nepoužívá ani senzor ani pumpu, nemohl poskytnout širší zpětnou vazbu pro tento modul. K celkové hře neměl výhrady s výjimkou odběru krve při měření glykémie. Nelíbila se

vysunout, ale obtížně hledala místo, na které se má napojit. Při volné hře upřednostňovala glukometr a inzulínové pero před čtením dat ze senzoru a pumpou.

Zhodnocení: Hra se jí líbila a neměla žádné výhrady. Dělal jí problém zkalibrovat senzor. Postup, změřit glykémii pomocí glukometru a poté ji ve správné scéně napsat, pro ni nebyl intuitivní.

■ Čtvrtý tester

Základní informace: Čtvrtým testerem byla dvanáctiletá dívka, která má diabetes I. typu od osmi let. Používá senzor Enlite od firmy Medtronic a nepoužívá pumpu. Chytrý telefon má od devíti let a hraje na něm hry.

Průběh: Neměla problémy s aplikací senzoru. Při kalibraci senzoru začala, bez žádné rady, měření glykémie pomocí glukometru. Měla problém s vytažením hadičky při sestavování infuzního setu, ale po vytažení ji snadno napojila na set. Při aplikaci inzulínu nevěděla, kolik jednotek má zadat.

Zhodnocení: Hra se jí líbila. Z testovaných částí nejvíce ocenila graf v senzoru. Na zbytku hry se jí líbilo dávkování inzulínu, ale nelíbilo se jí skládání odběrového pera. Dále by se podle ní mělo vylepšit podávání jídlo.

■ Pátý tester

Základní informace: Pátým testerem byl třináctiletý chlapec, který má diabetes I. typu od čtyř let. Používá senzor FreeStyle Libre s perem. Chytrý telefon používá od osmi let a hraje na něm hry.

Průběh: Při aplikaci senzoru měl problém s gesty tahání, aplikátoru i dezinfekční gázy. Měl problémy při sestavování inzulínové pumpy. Nedařilo se mu napojit rezervoár s infuzním setem a vytlačit z hadičky vzduch. Zasekl se při kalibraci senzoru. Muselo se mu poradit, že je nejprve potřeba změřit glykémii pomocí glukometru. Při aplikaci inzulínu měl problém s určením

doporučené dávky. Při volné hře měl problémy s rozeznáváním různých typů jídel.

Zhodnocení: Hra se mu líbila. Na testovaných částech nejvíce ocenil reálnost aplikace senzoru a infuzního setu. Celkově mu ve hře chyběl nějaký příběh či podobný motivační nástroj.

■ Šestý tester

Základní informace: Šestým testerem byla třináctiletá dívka, která má diabetes I. type už od prvního roku. Používá kombinaci senzoru Libre a inzulinového pera. Používá chytrý telefon, na kterém hraje hry. Kromě něj hraje hry i na herních konzolích. Hru MyDiabetic již znala a asi měsíc hrála.

Průběh: Byla zmatená při aplikaci senzoru. Měla problém s přípravou aplikátoru. Při aplikaci infuzního setu se jí podařilo úspěšně vytáhnout hadičku z rezervoáru, ale nešlo ji najít napojení na infuzním setu. Ve zbytku hry se dobře orientovala.

Zhodnocení: Hra se jí líbila, zejména ocenila vylepšení scény s čištěním zubů, která se od verze, kterou hrávala, vylepšila. Aplikace senzoru vypadala hezky, ale nebyla úplně podle pravdy. Scény s daty a kalibrací senzoru byly reálné.

■ Sedmý tester

Základní informace: Sedmým testerem byl čtrnáctiletý chlapec, který má diabetes I. typu od čtrnácti let. Používá inzulinové pero v kombinaci se senzorem Dexcom G6. Chytrý telefon má od osmi let a hraje na něm hry. Kromě mobilu hrává hry i na počítači.

Průběh: Neměl problémy s aplikací senzoru. Sestavení inzulinové pumpy nezvládl bez rady o propojení rezervoáru se zbytkem pomocí hadičky. Nevěděl si rady s kalibrací senzoru, bylo nutné mu říct, jak zjistit aktuální glykémii.

Zhodnocení: Líbila se mu celá hra, zdála se mu dobře propracovaná. Aplikace senzoru byla realistická. Aplikace pumpy se mu zdála dobrá, sám ji ale nepoužívá, takže nemohl více posoudit.

■ Osmý tester

Základní informace: Osmým testerem byla patnáctiletá dívka, která má diabetes I. typu od pěti let. Používá senzor s pumpou od firmy Medtronic. Chytrý telefon používá, ale nehraje žádné hry.

Průběh: Aplikace senzoru ji nedělala žádné problémy. Před kalibrací si sama změřila glykémii. Při infuzního setu bez rady sestavila pumpu a vytlačila vzduch z hadičky. Měla problémy se zorientovat ve scéně s jídlem. Spletla si tlačítko nákupu a seznamu jídel.

Zhodnocení: Na hře se jí líbilo zejména nakupování, graf ve scéně čtení dat ze senzoru a „nastřelování“ infuzního setu. Moc se jí nelíbila tloušťka kanyly a chyběla jí možnost zalomení kanyly.

■ Devátý tester

Základní informace: Devátým testerem byla patnáctiletá dívka, která má diabetes prvního typu od sedmi let. Používá senzor i pumpu od firmy Medtronic. Chytrý telefon používá, ale nehraje na něm hry, spíše dává přednost herním konzolám.

Průběh: Ze začátku byla zmatená při aplikaci senzoru. Poté se začala řídit šipkami. Při kalibraci senzoru bylo nutné ji navést na změření glykémie pomocí pera. Při aplikaci inzulínové pumpy měla problém s natažením hadičky a vytlačení vzduchu. Bylo nutné ji na správná gesta navést. Ve zbytku hry byla také zmatená, byl nutné všemi potřebnými aktivitami provést.

Zhodnocení: Hra se jí líbila. Ve scéně aplikace senzoru měla výhrady k náplastí. Scény kalibrace a dat senzoru se jí líbili. Scéna s infuzním setem odpovídala realitě. Chybělo jí doplňování zásobníku.