

Kristýna Drozdová

Odolnost vůči stresu





KATALOGIZACE V KNIZE - NÁRODNÍ KNIHOVNA ČR

Drozdová, Kristýna, 1975-

Odolnost vůči stresu / Kristýna Drozdová. -- 1. vydání. -- Praha : Grada, 2025. --

343 stran. -- (Psyché)

Obsahuje bibliografie

ISBN 978-80-271-5222-3 (brožováno)

* 159.944 * 159.913 * 613.86 * 612.064 * 611.8+612.8 * 613 * 159.9 * 57/59 * 304 *
(048.8)

- psychická odolnost -- psychologické aspekty
- psychická odolnost -- biologické aspekty
- psychická odolnost -- sociální aspekty
- zvládání stresu
- stres (psychologie)
- stres (fyziologie)
- neurobiologie
- duševní zdraví
- zdravý životní styl
- monografie

159.9 - Psychologie [17]

Kristýna Drozdová

Odolnost vůči stresu



Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

*Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude **trestně stíháno**.*

*Automatizovaná analýza textů nebo dat ve smyslu čl. 4 směrnice 2019/790/EU a použití této knihy k trénování AI jsou **bez souhlasu nositele práv zakázány**.*

MUDr. et Mgr. Kristýna Drozdová, Ph.D.

ODOLNOST VŮČI STRESU

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, 170 00 Praha 7

tel.: +420 234 264 401

www.grada.cz

jako svou 10061. publikaci

Odpovědná redaktorka Vlasta Dohnalová

Grafická úprava Antonín Plicka

Návrh a zpracování obálky Zdeněk Dušek

Počet stran 344

Vydání 1., 2025

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod a.s.

© Grada Publishing, a.s., 2025

Cover Photo © depositphotos.com/borojoint

ISBN 978-80-271-7991-6 (ePub)

ISBN 978-80-271-7990-9 (pdf)

ISBN 978-80-271-5222-3 (print)

Obsah

Úvod	7
1. Stručný neurovědní průvodce	13
1.1 Struktury významné pro pochopení fungování stresové reakce a odolnosti vůči zátěži	14
1.2 Látky významné pro pochopení fungování stresové reakce a odolnosti vůči zátěži	20
Literatura	24
2. Adaptace – dialektika mezi organismem a prostředím	27
2.1 Adaptace a stres	28
2.2 Allostáza a allostatická zátěž	30
2.3 Biologie versus prostředí	36
2.4 Epigenetika – hnací motor evoluce	39
2.4.1 Epigenetika potkává neurovědu	41
2.5 Neuroepigenetika – mechanismy plasticity mozku	46
2.5.1 Neuroplasticita	48
2.5.2 Neurogeneze	51
2.5.3 Synaptická plasticita	55
2.5.4 Plasticita bílé hmoty	58
2.6 Senzitivní období vývoje	59
2.7 Vliv zkušeností s prostředím na vývoj	69
Shrnutí kapitoly aneb co je dobré vědět	74
Literatura	75
3. Odolnost vůči zátěži a stresu	89
3.1 Posun od patologie k psychickému zdraví	94
3.2 Systém stresové odpovědi	96
3.2.1 Zpracování fyzických a psychologických stresorů	96
3.2.2 Společná cesta systému stresové odpovědi	103
3.3 Afektivní a sociální neurověda	107
3.3.1 Regulace emocí – základ dovedného zvládnání zátěže	113
3.3.2 Neurověda bezpečí a implicitní regulace emocí	120
3.3.3 Sociální regulace emocí	129
3.3.4 Emoční regulace, resilience a psychická pohoda	134
3.4 Stres a zátěž životem	146
3.4.1 Akutní reakce na ztrátu a trauma	147

3.4.2	Proces adaptivního zpracování informace	150
3.4.3	Následky závažného stresu pro psychiku	154
3.4.4	Stres v pomáhajících profesích	161
3.4.5	Syndrom vyhoření	161
3.4.6	Empatické vyhoření – únava z empatického distresu	166
3.5	Být odolný něco stojí	171
	Shrnutí kapitoly aneb co je dobré vědět	171
	Literatura	172
4.	Strategie odolnosti	189
4.1	Pozornostní řízení	191
4.1.1	Regulace pozornosti pomocí všímavosti	197
4.2	Emoční flexibilita – schopnost regulace emocí	201
4.2.1	Adaptivní regulace emocí	202
4.2.2	Regulace strachu a tolerance nejistoty	213
4.2.3	Emoční regulace pomocí všímavosti	221
4.2.4	Akceptace	226
4.3	Kognitivní flexibilita	232
4.3.1	Životní optimismus	232
4.3.2	Jak trénovat optimismus	245
4.4	Sociální zdroje, empatie a soucit	249
4.5	Jak pěstovat psychickou odolnost	263
	Shrnutí kapitoly aneb co je dobré vědět	264
	Literatura	265
5.	Posílení odolnosti, prevence a péče o sebe	279
5.1	Pohyb, pohyb, pohyb	282
5.2	Sladký, dlouhý a hluboký spánek	290
5.3	Pověz mi, co jíš	298
5.4	Péče o mysl, duši a vztahy	303
5.5	Zapomeňte na převraty	318
	Shrnutí kapitoly aneb co je dobré vědět	319
	Literatura	320
	Závěrem	331
	Seznam použitých zkratk	335
	Seznam tabulek	339
	Seznam obrázků	341
	O autorce	343

Všichni máme jedno společné. Narodili jsme se do tohoto světa a dostali jsme poukaz na cestu životem. Nikdo nám ovšem nedal návod ani průvodce, jak životem kráčet či jak se s životem poprat. Cesta každého z nás je různě spleťtá, klikatá a jedinečná. Jsou dny, kdy jsme na výsluní, záříme štěstím a daří se nám. Jindy jsou naše ramena svěšená a naše duše sklíčené. Všichni v životě čelíme překážkám, na každého čekají nástrahy v podobě prožívaného stresu nebo traumat. Od chvíle, kdy vykročíme na cestu života, je stres a vyrovnávání se se zátěží neodmyslitelnou součástí našeho putování. Dokud jsme tady a dýcháme, jsme vystaveni výzvám a změnám. Tváří v tvář nepřízni osudu zvedáme pomalu hlavu a pátráme po sebemenší jiskřičce naděje i v těch nejtěžších časech. Zamysleli jste se někdy nad tím, co nás motivuje v tom, abychom to jen tak nevzdali? Napadlo vás někdy, proč tak urputně čelíme nepřízni, proč tápeme a hledáme? Proč se někteří z nás pod nákladem životních zkušeností zlomí a jiné naopak nápor života posílí a otuží?

Novozélandská psycholožka Lucy Hone se řadu let věnovala výzkumu lidské odolnosti a hledala efektivní strategie, jak si udržet psychickou rovnováhu i v těch nejtěžších časech. Ve výzkumu odolnosti se orientuje směrem k proaktivnímu „vytěžení“ z životních změn a těžkostí a k tomu, jak se v životě posunout dál a přerůst svou bolest. Dojemnou ukázkou toho, jak je zátěž a odolnost v našich životech neodlučitelně svázána, je její vlastní životní příběh. Zprostředkovává nám jej ve své knize *Resilient Grieving* (2017), která odkazuje zejména na naši neurobiologickou připravenost ke zvládání zátěže (jejími slovy, my všichni jsme *hard wired to cope*). Ukazuje svou vlastní cestu vyrovnávání se s náhlou ztrátou dvanáctileté dcerky při autonehodě. Jako psycholožka zkoumala odolnost teoreticky na svých probandech. A najednou jí život uštědřil krutou ránu, kdy nezbývalo nic jiného než teorie procdit vlastní bolestnou zkušeností. Najednou se zdály všechny teoretické koncepty světa naprosto k ničemu. Lucy musela sama najít energii, motivaci a odhodlání, jak se zvednout a kráčet dál svým životem s hlubokým šrámem v srdci. Lucy na vlastní kůži zjistila, že náš mozek je předpřipraven (*hard-wired*) ke zvládání zátěže. Přináší povzbudivou zprávu, že jako lidé jsme vybaveni mechanismy, které nás učí odolat, vydržet a přežít. Z evoluční perspektivy to samozřejmě dává smysl. Jinak bychom jako lidstvo pohořeli na první větší zátěži a nepřežili miliony let tváří v tvář nehostinným vnějším vlivům. Lucy Hone vydestilovala ze své plodné teoretické kariéry tři základní charakteristiky, které jsou společné všem odolným jedincům, jež přežili závažné životní změny. My můžeme tyto tři aspekty považovat za takovou

záchrannou vestu, která se nafoukne, jakmile se dostaneme do úzkých. Jedná se o tři důležité aspekty, které je možné rozvíjet i mimo nebezpečí v normálním běhu života. Usnadňují nám cestu a budou nám velmi nápomocné, pokud na naší cestě narazíme na překážky. A i kdybyste z celé knihy nepřčetli už ani řádku, tyto tři charakteristiky v sobě nesou základní esenci i odkaz na domů.

Tři zásadní charakteristiky, které odlišují odolné jedince:

- Tito lidé vědí, že ztráty a trápení, nemoci či bolest patří k životu, nejsou někde daleko, jsou jeho součástí.
- Tito lidé dokáží navzdory utrpení a strádání aktivně zaměřit svou pozornost na pozitivní aspekty.
- Každou věc, které čelí v rámci vyrovnávání se se ztrátou, posuzují s ohledem na to, zda jim tato věc pomáhá, nebo zhoršuje jejich trápení, a aktivně volí menší trápení.

Obr. 1 *Charakteristiky odolných jedinců*

Zdroj: vlastní zpracování dle Hone (2017)

Představte si úplně jednoduchou situaci, kdy se rozhodnete vyrazit sami na pěší výlet do hor nebo si jen najdete cestu na mapě a chcete sami sobě dokázat, že to zvládnete. Najednou před vámi leží neznámo, nutnost se spolehnout na sebe a na lidi kolem. Můžete se bát, můžete se takové cestě vyhnout a nikdy nezjistit, co by tam čekalo. Můžete pohodlně zůstat doma. Ale taky můžete takový výlet brát jako výzvu, vydat se se zvědavostí na cestu a třeba i čelit nepříznivému počasí, spletité trase, spadlým stromům, nepříjemným lidem. Možná ztratíte zavazadla, přijdete o doklady. Možná se někde odřete, pochroumáte nebo nastydnete. Možná se dokonale ztratíte, budete volat o pomoc. Anebo můžete cestou uvidět spoustu nového, potkat jiné lidi, řešit nečekané situace. Nakonec dojdete do cíle. V cíli zjistíte, že vás cesta změnila, že jste jiní než ti, co vycházeli na začátku z domu. Odolnější, sebevědomější a odvážnější. Jenže někdy vás můžou potkat i větší potíže než pouhé každodenní těžkosti, můžete čelit zátěži, která přesahuje vaše vybavení, schopnosti i odhodlání. Taková událost se do vašich myslí a těl může dlouhodobě nepříznivě zapsat.

Všechny životní situace a události vás proměňují a ovlivňují, mění vaše prožívání, myšlenky i jednání. Lidé dostali do vínku schopnost se různými způsoby adaptovat na situace měnícího se života. A zvládají to z velké části právě díky odolnosti, resilienci. Předkládaná kniha vám přiblíží, co všechno pod tento pojem patří, jak o odolnosti dnes přemýšlíme a jak se ji v dnešní době snažíme posilovat.

Resilience je nejasně vymezený pojem, který často používáme, abychom popsali pozitivní adaptaci, která se vynořuje tváří v tvář závažné nepřízni života či osudu.

V běžné řeči používáme různá synonyma, jako je houževnatost nebo nezdolnost. V psychologické literatuře se setkáváme s dalšími pojmy, mezi které patří psychická flexibilita, adekvátní adaptabilita, vnitřní soudržnost nebo schopnost se pružně navracet do původního stavu (Kebza & Šolcová, 2008). Nejasnost pojmu je částečně zapříčiněna právě tím, že stejná nepřízeň osudu některé jedince zdrtí, jiných se nedotkne a další jsou schopni díky ní vyrůst a zocelit se. Mnoho výzkumníků podniklo zajímavé studie, aby porozuměli environmentálním a dispozičním charakteristikám utvářejícím odolnost, i tomu, jak se tyto charakteristiky navzájem ovlivňují. Jejich ústředním zájmem je vytváření vhodných terapeutických a klinických intervencí, ale i uspořádání preventivních strategií, které pomohou snížit pravděpodobnost vzniku následků u rizikových jedinců.

Dozvíte se něco z neurobiologie odolnosti a vlivů prostředí, které posilují resilienci. Před vámi se otevře kouzelný svět epigenetických modifikací biologie člověka pod vlivem zevních podmínek, svět různých pravděpodobností a vývojových trajektorií, dynamicky se měnící svět, popisující struktury mozku a jejich propojení, vedoucí k resilienci nebo k vulnerabilitě. Díky zobrazovacím studiím a rozsáhlým metaanalýzám jsme bohatší o mnoho nových poznatků, propojujících neurovědy napříč vědními obory a poskytující další vědomosti, které se skládají v podivuhodnou mozaiku střípků barvitého obrazu světa. Nevystačíme si již s pouhým popisem vlivu stresu a traumat. Musíme se neurobiologicky ohlížet na celou skládanou, která stojí za fenoménem adaptace organismu na prostředí. Tento širší rámec resilience v ekologii a evoluci adaptace i v neurobiologických základech nám přiblíží první kapitola.

Pojďme si říci, že ucelená operacionální definice odolnosti je pro vědce stále nedosažitelnou metou (Kebza & Šolcová, 2015). Historicky byla resilience definována jako nepřítomnost psychopatologie vzdor tomu, že se jedinec potkal s nepříznivými okolnostmi (Eaton et al., 2022). Dnes však víme, že taková omezující definice nezachycuje četné případy, kdy jednotlivec vystavený zátěži dokáže tuto nepřízeň přerůst, nabyde nové úrovně fungování (posttraumatický růst) nebo zvládá relativně dobře fungovat v různých oblastech života, přestože vykazuje příznaky některé psychiatrické poruchy (Rutter, 2013). Druhá kapitola nám přibližuje některé důležité neurobiologické pojmy, bez kterých se v současném výzkumu psychických procesů a funkcí neobejdeme. Vybrala jsem esenci neurověd nezbytnou pro chápání následujících kapitol. Pokud se dostaneme k dalším termínům neurověd v textu, používám poznámky pod čarou. Třetí kapitola nastiňuje širší biologický a evoluční kontext pojmu resilience a jeho propojení s adaptací a adaptabilitou. Čtvrtá kapitola upozorňuje na terminologická a teoretická úskalí pojmu resilience, který můžeme vymezit jako stabilní osobnostní rys, výsledek procesu vyrovnávání se se zátěží anebo

jako dynamický proces zvládání zátěže. Ve všech teoretických i terminologických vymezeních se nemůžeme vyhnout zachycení povahy zátěže, stresu nebo traumatu a vrozených mechanismů zvládání zátěže organismem, i když se v této knize spíše orientujeme na širší vymezení pojmu, než je pouhá nepřítomnost psychopatologie po setkání se stresem anebo úzké definice vycházející z fyziologie stresu či strachu. Kapitola obsahuje i uvedení do afektivní a sociální neurovědy, které se jeví zcela relevantní pro výklad širších souvislostí lidské odolnosti. Přináší teoretické ukotvení k další kapitole, která popisuje efektivní strategie, jak podporovat psychickou odolnost ve výchově, v klinické praxi a psychoterapii i v prevenci závažných následků nezpracované zátěže a traumatu. Rozděluje popisovanou oblast na čtyři pole flexibility – emoční flexibilitu, kognitivní flexibilitu, pozornostní řízení a systém sociální podpory. Poslední kapitola se specificky věnuje postupům well-beingu, obsahuje návody, jak podporovat své psychické zdraví, vzkvétání, růst a jak o sebe efektivně pečovat v oblasti osobní, profesní i vztahové a spirituální.

Lidé používají svou kapacitu k odolnosti různými způsoby. Snaží se za její pomoci překonat těžkosti a překážky z dětství (traumatické prožitky, ale i neadekvátní výchova). Bojují se stresem každodenního života. Využívají odolnost, jakmile jim do života vstupují velké změny a obraty (životní krize a ztráty). A nakonec používají odolnost k posílení své sebejistoty a jistoty, že mohou dosáhnout něčeho nového a převratného (sebedůvěra a sebevědomí) (Hone, 2017). Zkoumání odolnosti vůči stresu, zvládání zátěže a dlouhodobým následkům traumatu na lidské jedince jsou nejen zajímavá, ale zároveň v sobě nesou ohromný revoluční význam. Mohou změnit mnohé, pokud budou tyto výzkumy dobře provedeny a interpretovány. Oblast výzkumu resilience se dotýká psychiatrického vymezení poruch odvozených od stresu nebo emoční dysregulace a zabývá se psychoterapeutickým zacházením s klienty trpícími různými obtížemi. Přináší nám však také poznatky o optimálním přístupu k výchově nebo vzdělávání, ukazuje nám, jak se časná péče propisuje do struktury, fungování a konektivity mozku a potažmo do fungování a charakteristik celého jedince, v evoluční perspektivě i do fungování celých generací.

Literatura

- Eaton, S., Cornwell, H., Hamilton-Giachritsis, C., & Fairchild, G. (2022). Resilience and Young people's brain structure, function, and connectivity: A systematic review. *Neuroscience Biobehavioral Reviews*, 32, 936–956.
- Hone, L. (2017). *Resilient Grieving: How to Find Your Way Through a Devastating Loss (Finding Strength and Embracing Life After a Loss that Changes Everything)*. The Experiment.
- Kebza, V., & Šolcová, I. (2008). Hlavní koncepce psychologické odolnosti. *Československá psychologie*, 52(1), 1–19.
- Kebza, V., & Šolcová, I. (2015). Resilience: některé novější koncepce psychické odolnosti. *Československá psychologie*, 59(5), 444–451.
- Rutter, M. (2013). Annual Research Review: Resilience—clinical implications. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 54(4), 474–487.

1. Stručný neurovědní průvodce

Při vysvětlování resilience se v dnešní době enormního rozšíření zobrazovacích metod a poznatků o fungování centrálního nervového systému bez základních znalostí neurověd neobejdeme. Musíme nejprve absolvovat krátký exkurz do „tajů“ neurovědních souvislostí, abychom si připravili úrodné pole pro chápání odolnosti v širších souvislostech. Nenechte se zpočátku odradit cizími názvy anatomických struktur, protože neurověda nám přinese možnost transdisciplinárního propojení různých vědních oborů, od molekulární neurobiologie, histologie neuroanatomie, neurofyzologie, neurobiochemie po matematické a počítačové modelování nebo neurofenomenologii. Transdisciplinární pohled a možnost propojování různých pojetí nám poskytuje ucelenější představu o struktuře, funkci a konektivitě nervové soustavy.

Neurověda odolnosti se z velké části opírá o neurofyzologii systému odpovědi na stres jako evolučně starého komplexního systému, který moduluje různé úrovně fungování centrální nervové soustavy (CNS), řídí učení, paměť a strategické rozhodování. Stresory indukují dlouhodobé adaptivní změny v mozku, obzvláště v paměťových strukturách. Zvýrazněné zapamatování emočně silných nebo stresujících událostí (biologicky významných) je a bude důležité pro každé naše další setkání s takovým podnětem. S rostoucím množstvím dat se ukazuje, že neurověda odolnosti se neobejde bez vysvětlení neurálních struktur důležitých pro emoční regulaci, pro kognitivní processing nebo pro mechanismy odměny, neboť mozek je klíčovým hráčem v odpovídavosti a adaptaci na stres. Mozek stres vnímá, zpracovává, určuje, co je ohrožující, vybavuje behaviorální a fyziologickou reakci na stres (McEwen et al., 2015). Právě mozek je také ústředním orgánem naší adaptace a přežití. Adaptivní mozek musí na stres odpovídat rychle a „racionálně“ s ohledem na kontext, musí předvídat a vyvažovat potřeby, které mohou být (a velmi často i jsou) ve vzájemném konfliktu (Steffen et al., 2022). A organizace mozku jako komplexního systému neuronálních sítí „malých světů“¹ reflektuje naši adaptaci a přežití i jejich

¹ **Síť malých světů** (*small-world network*) je typ matematického grafu (teorie grafů), kde většina uzlů není jedna druhé sousedem (nejsou propojeni vedle sebe), ale každý uzel může být dosažen z každého jiného pomocí malého počtu kroků. Systém je popsán pomocí délky vzdálenosti mezi uzly (*length*, *L*) a stupněm propojení (*connectivity*, *C*).

proměny v evoluční perspektivě. Lokalizační přístupy nebo hledání center různých funkcí byly moderní neurovědou zcela opuštěny. Vymezování a popis jednotlivých struktur centrální nervové soustavy na tomto místě má spíše didaktický význam.

1.1 Struktury významné pro pochopení fungování stresové reakce a odolnosti vůči zátěži

Amygdala (mandlové jádro, amygdalární komplex)

Amygdala, párová struktura mandlovitého tvaru, je jedno z bazálních ganglií uložených hluboko uvnitř mozku, v mediálním temporálním laloku. Amygdala je funkčně intenzivně propojená s limbickým systémem, kde se podílí na zpracování informace ve vztahu ke strachu a poplachové reakci. Hraje ústřední roli v podmiňování strachu, zapamatovávání emočních podnětů a při spouštění silných emocí a sebezáchovných reakcí (označovaných F/F/F nebo *fight/flight/freeze*, česky bojuj/uteč/zmrzni) v průběhu zpracování stresových podnětů. Amygdala je velmi hustě obousměrně propojena nahoru do kůry i dolů do efektorových systémů, hypothalamu, mozkového kmene i do mozkové kůry. Amygdala je tvořena nakupeninou jader, proto někdy hovoříme o amygdalárním komplexu (Cristinzio Perrin et al., 2007), kde popisujeme bazolaterální jádro (BLA), centrální jádro (CeA) a mediální jádro amygdaly (MeA). Každá část amygdaly se specializuje na jiné funkce a má odlišné spoje, například pro zpracování psychologických stresorů a pro konsolidaci emočních vzpomínek je kritickou strukturou BLA (Godoy et al., 2018). Stresové hormony posilují zpevnění vzpomínek na emočně náročné události cestou aktivace amygdaly, zejména jejího BLA. Amygdala má dalekosáhlý vliv na některé důležité struktury mozku (PFC, hipokampus, NAc aj.) (Roosendaal et al., 2009). Tím mění zpracování informace v těchto regionech, například má posilující vliv na zapamatování emočně nabitých vzpomínek a zároveň tlumivý vliv na hipokampus při poplachové reakci (proto jsou naše vzpomínky na trauma roztržštěné a nesouvislé, nejsou zapamatované v obvyklém epizodickém sledu) a na řečové centrum (proto někdy nemůžeme v situaci ohrožení vydat ani hlásku a někdy o situaci nemůžeme ani zpětně mluvit), ale tlumí i naši možnost učení v těchto situacích (máme sníženou výkonnost pracovní paměti). Chronický nebo opakovaný stres vede k remodelaci

struktur a spojů v CNS, v případě amygdaly se jedná o zvýšení její odpovědnosti na stresory, která je podmíněna nárůstem dendritického větvení a vytvářením nových synaptických trnů (Roozendaal et al., 2009), zatímco v hipokampu a prefrontálním kortexu (PFC) dochází ke změnám opačným.

Hypothalamus

Hypothalamus je nálevkovitá struktura hluboko uprostřed mozku, tvořící dno třetí komory mozkové. Navzdory malé velikosti je její funkční rozsah ohromný. Má přímé i nepřímé napojení do mnoha řídicích struktur mozku i těla, protíná se zde řízení homeostatické, humorální, neurální i imunitní. Je to jedno z hlavních integračních center mozku. Hypothalamus je tvořen nakupeninou párových jader. Najdeme zde suprachiasmatické jádro (SCN), které mimo jiné pomáhá synchronizovat cirkadiánní rytmy, nebo jádro paraventriculární (PVN), které řídí hlavní endokrinní žlázu – podvěsek mozkový (hypofýza, *pituitary gland*) – a autonomní nervový systém. PVN zaujímá ústřední bod pro řízení rychlé i pomalé složky stresové reakce. Hypofýza je přední výběžek hypothalamu. Z tohoto místa se do oběhu uvolňuje oxytocin a vazopresin a liberiny a statiny, které řídí endokrinní systém. Hypothalamus také obsahuje tzv. cirkumventrikulární orgány (*nucleus preopticus medialis, organum subfornicalis, organum vasculosum* aj.), které citlivě reagují na výkyvy látek v tělních tekutinách.

Hippocampus (hipokampus,² mořský koník)

Hipokampus je část mozkové kůry, která je umístěná na vnitřní straně obou hemisfér, ve střední části spánkového laloku. Tato párová struktura je nezbytná pro vytváření a ukládání nových vzpomínek, pro prostorovou navigaci, pro učení, a to zejména faktických informací a epizodických vzpomínek. Na jeho nervových buňkách jsou velmi hustě exprimovány receptory pro glukokortikoidy a mineralokortikoidy, což ukazuje jeho klíčové postavení ve stresové reakci. Tato struktura je více než jiné oblasti mozku vulnerabilní a citlivá k vlivům prostředí – v prosperujícím a podnětném prostředí je sídlem obnovování neuronů, ovšem za podmínek chronického stresu dochází ke zmenšování této struktury.

² V textu pro lepší srozumitelnost i přehlednost používáme spíše počestlé názvy s českými koncovkami – latinsky *hippocampus*, česky hipokampus. Kde je to možné, využíváme běžné zkratky anatomických struktur ze stejného důvodu.

Prefrontální kortex (předčelní kůra, PFC)

Prefrontální kortex je přední část čelní mozkové kůry lokalizovaná za čelní kostí. Podle umístění rozdělujeme tuto oblast na zadní (dorzolaterální, dlPFC), přední a střední (ventromediální, vmPFC, její součástí je i orbitofrontální kůra, OFC, a přední cingulum, ACC). Bývá popisována jako základní exekutivní a rozhodovací centrum. Je aktivní během plánování, usuzování, racionálního a morálního rozhodování. Pomáhá regulovat emoce, v ideálním případě má tlumivý efekt na amygdalu a moduluje poplachovou a strachovou reakci.

Jedná se o vývojově mladší oddíl mozkové kůry, typicky vysoce rozvinutý u lidí. Je zodpovědný za vyšší kognitivní funkce, exekutivní a rozhodovací funkce, regulaci pozornosti a emocí a pracovní paměť. Napomáhá vyhledávání a vybavení informace i její ukládání do hipokampu. Facilituje plánování a racionální rozhodování. Reguluje emoce cestou inhibičního vlivu na limbický systém, zejména amygdalu. Pro její pestré řídicí funkce bývá často označována za exekutivu mozku. Vývojově starší vnitřní části PFC podřazujeme limbickému systému, protože jsou s nimi funkčně velmi významně propojeny.

Přední cingulární kůra (anterior cingular cortex, ACC, přední cingulum, precingulum)

Přední cingulární kůra je oblast mozkové kůry navnitř obou hemisfér, která vpředu obkružuje corpus calosum (vazník mozkový, spojuje hemisféry). Je to také část mediálního prefrontálního kortexu (mPFC). Funkčně má blízko k limbickému systému a prefrontálnímu kortexu. Je intenzivně propojena s amygdalou, hipokampem, hypothalamem, mozkovým kmenem a prefrontální kůrou (její orbitofrontální částí, OFC). Přední cingulum je anatomicky a funkčně značně heterogenní a skládá se z různých cytoarchitektonických oblastí s odlišnou konektivitou (retrosplenická, zadní, střední a přední část ACC). Spolupodílí se na regulaci emocí, observačním prožívání při empatii, učení informací ve vztahu k emocím, regulaci autonomních funkcí, paměti a zpracování odměny. Hraje hlavní roli v naší schopnosti zaměřit pozornost, detekovat a monitorovat chyby a konfliktní informace. Posuzuje důležitost informace ve vztahu k emocím a motivaci. Spolu s přední inzoulou vytváří základní uzly tzv. salientní sítě, určující významnost působícího podnětu pro jedince.

Přední inzulární kůra (přední inzula, přední část ostrovního laloku, AI, AIC)

Ostrovní lalok je pátý a nejmenší lalok mozkové kůry po obou stranách mozku, který je zanořen mezi lalokem frontálním a temporálním a není tak viditelný na povrchu mozku. Přední inzulární kůra byla tradičně považována za paralimbickou nebo také limbickou asociační kůru, což odkazuje na její intimní propojení s limbickým systémem. Někdy bývá označována jako primární viscerálně-somatická oblast (viscerální mozek). Inzulární kortex členíme anatomicky, funkčně i histologicky do dvou částí vymezených jeho centrální rýhou na přední a zadní inzulu. Přední část inzuly je primárně propojena s předním cingulem, čelní kůrou, orbito-frontální kůrou a předním temporálním kortexem. Přijímá a mapuje informace ze všech oblastí fyzického těla. Celé naše tělo je prostoupeno drobnými „smyslovými“ orgány. Jedná se spíše o volná čivá nervová zakončení v cévách, svalech, šlachách, stěnách vnitřních orgánů, a dokonce i v kostech. Tento systém vnitřního citu pomáhá mozku reprezentovat interocepti (Craig, 2003), poskytovat mu neustálou zpětnou vazbu o těle a z těla a umožňuje nám si uvědomovat svůj tělesný stav. Jednoduše lze shrnout, že nám říká, co se děje uvnitř těla, a zpracovává informace ve vztahu k prožívání emocí. Funkce inzuly jsou však velmi rozmanité, jak ukazují funkční zobrazovací studie, které nově rozdělily lidskou inzulu do čtyř funkčně odlišných oblastí – sensorimotorické, čichově-chuťové, socioemocionální a kognitivní. Jedná se do jisté míry o simplifikaci, která dobře ilustruje pestrost zapojení samotné inzuly (Uddin et al., 2017).

Okruh odměny (mezolimbická dopaminová dráha)

Jako okruh odměny je nazývána síť několika subkortikálních a kortikálních struktur, bohatě mediovaná dopaminem, zahrnující ventrální tegmentální oblast (VTA) a nucleus accumbens (NAc), hipokampus, prefrontální kortex (PFC) a další oblasti. Neurony z VTA uvolňují dopamin při zpracování různých libých či averzivních podnětů, v závislosti na místě jejich ukončení – předpokládá se, že existují v rámci tohoto okruhu tři anatomicky oddělené podokruhy: 1) z VTA do mediální části NAc, aktivní během odměny; 2) z VTA do mPFC, aktivní během averzivních podnětů; 3) z VTA do laterální části NAc, aktivní během zpracování obou typů podnětů, pravděpodobně reflektující salienci, významnost podnětu (Lammel et al., 2011). Stresory mohou ovlivnit dopaminergní neurony v oblasti VTA a jejich projekce do mPFC. Například u depresivních jedinců předpokládáme změny ve zpracování

odměňující a averzivní informace. Citlivost této dráhy na odměnu, zejména její části VTA–BLA–NAC, může být oslabena právě během depresivní poruchy (Sun et al., 2021). Animální modely ukazují rozdíly v propojení uvnitř částí okruhu odměny i navenek s ostatními strukturami mezi odolnými a vulnerabilními jedinci.³

Nucleus accumbens (NAC, známé jako centrum libosti)

Párové jádro nucleus accumbens zařazujeme mezi bazální ganglia hluboko uvnitř mozku. Je součástí mezolimbické dráhy (okruhu odměny) spolu s ventrální tegmentální oblastí (VTA). Je intenzivně propojeno s prefrontálním kortexem (glutamatergní dráhy), hypothalamem (orexinergní dráhy) a amygdalou. Integruje dopaminergní vstupy z VTA a vstupy z hipokampu, PFC, amygdaly a thalamu. Zprostředkovává nám zkušenosti ve spojení s odměnou a trestem. Ovlivňuje plánování s ohledem na příjemné podněty. Dopaminergní, glutaminergní a orexinergní spoje umožňují prožívání libosti v souvislosti s jídlem, sexem, hudbou, psychoaktivními látkami aj.

Limbický systém (dříve označovaný rhinencephalon nebo emoční mozek)

Limbický systém není technicky ani systém, ani anatomicky určená struktura a v průběhu let byl vymezován různě. Termín nám však poskytuje užitečnou zkratku, která odkazuje na anatomicky a funkčně bohatý komplex mozkových struktur, podílejících se mimo jiné na zpracování a produkci emocí a paměti. Název limbický odvozujeme od latinského slova *limbus* (hraniční), což nám napovídá, že vytváří hranici mezi vývojově novou mozkovou kůrou (neokortex) a podkořím. Jeho struktury bývají podrážovány pod tzv. limbický lalok navnitř hemisfér, vývojově starší korové oblasti, ale i podkorová jádra a oblasti na limbický lalok napojené. Tento funkční komplex propojuje struktury koncového mozku, podkoří i mozkového kmene, bývají s ním spojovány struktury hipokampu, cingula, amygdaly, hypothalamu a thalamu i nucleus accumbens aj. Důvodem této asociace bývá strukturální a funkční podobnost a bohaté vzájemné oboustranné propojení. Velice obecně lze říci, že se velkou měrou podílí na řízení pochodů, které podporují přežití organismu a druhu (Petrovický, 1999).

³ Myši odolné vůči stresu vykazovaly zvýšenou aktivitu spojů z VTA do NAC i projekcí z VTA do mPFC, zatímco vulnerabilní myši měly zvýšenou aktivitu jen mezi VTA a NAC, ale mezi VTA a mPFC byla aktivita nižší.

Autonomní nervový systém – vegetativní nervový systém (ANS)

ANS je součástí periferního nervového systému. Rozlišujeme viscerosenzorickou (dostředivou) a visceromotorickou (odstředivou, efektorovou) část. Visceromotorická část je organizována do dvou proti sobě pracujících větví – sympatické a parasympatické. Mají odlišnou anatomickou a neurotransmitterovou organizaci, jejich zakončení se scházejí ve stěnách všech vnitřních orgánů, cév a žláz, jejichž činnost neustále monitorují a regulují. Ačkoliv si tyto systémy nejčastěji spojujeme se stresem, je důležité si uvědomit, že bez jejich trvalé aktivity bychom nedokázali popoběhnout za ujíždějícím autobusem ani vstát ze židle, aniž bychom omdleli (bez tonického vlivu a anticipační reakce sympatiku by došlo k významnému poklesu tlaku krve). Střídání vlivu sympatiku a parasympatiku na srdeční frekvenci během dýchání se projevuje tzv. respirační sinusovou arytmií, která je zcela normálním jevem.

Jinak můžeme zjednodušeně říci, že sympatická část mobilizuje tělo v podmínkách zvýšených nároků nebo stresu (*fight or flight*). Tato větev ANS je spolu s dřením nadledvin organizována do tzv. sympatoadrenální osy (SAM), která je druhým nej-mocnějším hráčem systému stresové reakce. Parasympatikus dominuje za normálních „nestresových“ podmínek, jeho úkolem je nastřádat zdroje na další stresovou reakci, aby se organismus mohl co nejlépe vyrovnávat se zátěží (*rest and digest*). U zdravého jedince je nezbytné, aby jeho sympatický systém dokázal v podmínkách stresu vyprodukovat dostatečně silnou reakci, aby se ale také dokázal velmi rychle vrátit zpět, jakmile ohrožení pomine, a uvolnil cestu pro parasympatickou převahu v klidovém období. Parasympatikus má dvě větve, starší nemyelinizovanou (dorzální vagus) a mladší myelinizovanou (ventrální vagus), proto bývá některými autory označován jako polyvagální systém (Porges, 2003).

Stresová osa, osa hypothalamus–hypofýza–nadledvina (osa HPA)

Osa HPA je hlavní neuroendokrinní systém našeho mozku. Je zodpovědná zejména za řízení reakce na stres, ale podílí se na regulaci mnoha jiných procesů v těle, například zažívání, energetické rovnováže, imunitních reakcích, sexuálním chování nebo řízení nálady a emocí. V tomto důležitém systému řízení dochází k průniku regulace humorální (látkové, hormonální) a neurální (nervové), kde je ústředním bodem hypothalamus jako integrující centrum vyhodnocující signály z vnitřního prostředí těla, výměny informací v mozku, stav imunitního systému a žláz z vnitřních sekrecí.

Je to systém zahrnující několik etází řízení reakce organismu na stresor. Někdy bývá tato soustava řízení rozšiřována o limbický systém, se kterým je intenzivně propojena. Bývá poté označována jako osa limbický systém–hypothalamus–hypofýza–nadledvina. Stresová osa je výkonná neboli efektorová část systému stresové reakce. Jejím koncovým mediátorem je kortizol, který se uvolňuje po její aktivaci z kůry nadledvin. Osa HPA má dva hlavní způsoby fungování, kromě akutní stresové aktivace dochází k uvolňování glukokortikoidů (GKs) i v tzv. cirkadiánním rytmu. GKs jsou vylučovány těsně před probuzením, brzy ráno, tj. před nejdelší bdělou periodou – u hlodavců aktivních v noci se GKs zase vylučují do oběhu začátkem večera.

1.2 Látky významné pro pochopení fungování stresové reakce a odolnosti vůči zátěži

Glukokortikoidy (GKs), kortizol a kortikosteron

Glukokortikoidy (u lidí kortizol a kortikosteron) jsou koncové produkty aktivace HPA osy. Tyto hormony (endokrinní řízení) mají dva funkční režimy – pravidelné cirkadiánní uvolňování a pak okamžité uvolnění indukované stresem. V průběhu celého dne koordinují a synchronizují denní a noční spánkové rytmy. Během stresové reakce regulují odpověď organismu jako celku a facilitují jeho adaptaci na měnící se podmínky prostředí. Krátká a rychlá reakce organismu na zátěž je zcela na místě, ale pokud je tato odpověď prodloužená nebo zesílená, může se efekt kortikoidů přeměnit z prospěšného na škodlivý (Daskalakis et al., 2013). Uvolňované GKs se zase zpětně váží na jaderný receptor a fungují jako regulátory své vlastní transkripce v mozku. Tato „dvousečná“ funkce z něj dělá hlavní regulátor stresové odpovědi, kterou iniciuje i zakončuje (de Kloet et al., 2005). Nejdůležitější úlohou glukokortikoidů je mobilizovat energii pro tělo v situaci ohrožení nebo očekávané vyšší spotřeby energie. Posunují metabolickou rovnováhu ve zpracování bílkovin, tuků a glukózy. Ve svalch, kostech a tukové tkáni mají efekt katabolický a v játrech mají efekt anabolický. Výsledkem je zvýšená nabídka glukózy pro okamžitou spotřebu v pracujících svalch a mozku. Mění funkce imunitního systému, z krátkodobého hlediska může imunitní systém podporovat, z dlouhodobého hlediska dochází

k dysregulaci zánětlivé kaskády a vzniku tzv. prozánětlivého stavu, tedy stavu s vyšší pohotovostí k rozvoji zánětu. Stimuluje činnost mozku, zvyšuje dráždivost nervové tkáně a způsobuje emoční labilitu.

Adrenalin (epinephrin, A)

Adrenalin je neuromediátor a hormon. V malém množství se nachází v CNS, ale větší množství je uvolňováno dřením nadledvin do krevního oběhu pod vlivem stresorů. Dřeň nadledvin je vlastně modifikované sympatické ganglion, je součástí systému SAM. Adrenalin se vylučuje spolu s malým množstvím noradrenalinu a dopaminu. Připravuje tělo na boj nebo únik po stimulaci sympatického autonomního systému. Zvyšuje tlak krve a tepovou frekvenci, zužuje cévy a rozšiřuje dýchací cesty s cílem zabezpečit dostatečný přísun kyslíku do plic a krve do svalů, abychom byli připraveni například na běh.

Dopamin (DA)

Dopamin má v nervovém systému opět více funkcí. Je členem rodiny katechominů, nejhojněji zastoupených v CNS (80 % všech), a funguje jako neuromodulátor a neuromediátor. Hraje důležitou roli v chování motivovaném odměnou. Anticipace rozličných typů odměn zvyšuje v mozku uvolňování DA v oblasti VTA a NAc. Dysregulace okruhu odměny bývá zmiňována v souvislosti se závislostmi všeho druhu. Rovněž se účastní řízení a koordinace tělesného pohybu. Narušení jeho produkce vede k narušení motoriky a projevuje se jako Parkinsonova nemoc. Jako neuromodulátor reguluje uvolňování různých hormonů. Bývá označován jako neurotransmitter pohody, odměny nebo libosti, spíše jej dnes chápeme obecně jako dárce motivační salience, který signalizuje organismu vnímanou motivační sílu (touhu, nebo odpor).

Noradrenalin (norepinefrin, NA)

Noradrenalin spolu s adrenalinem a dopaminem řadíme mezi katecholaminy. Funguje jako neurotransmitter a modulátor v CNS a jako hormon v těle. Jeho hladina v průběhu dne kolísá a v noci je nejnižší (cirkadiánní rytmicita). Hraje roli v udržení bdělosti, posiluje ukládání informace do paměti a pomáhá zaměřit pozornost. Během stresové reakce je spoluhráčem adrenalinu, vylučuje se na postgangliových

sympatických neuronech a také ze dřeně nadledvin, kde pak má funkci hormonu. Umožňuje krátkodobě připravit organismus na akci, zvyšuje tlak krve, urychluje tepovou frekvenci, roztahuje cévy v kosterních svazech a zvyšuje odbourávání glykogenu na jednoduché cukry. NA uvolňovaný přímo v amygdale (BLA) má klíčovou roli v její odpovědi na stresové události nebo emoční stimulaci a na konsolidaci vzpomínek na takové události (Roozendaal et al., 2009).

Oxytocinový systém (OT)

Oxytocinový systém je jeden z vývojově nejstarších systémů integrace a regulace (peptidy podobné vazopresinu a oxytocinu nalezneme u všech obratlovců, od savců a ptáků po obojživelníky a ryby). Tento systém funguje neurálně, humorálně i v řízení imunitního systému. Oxytocin je neurotransmitter, hormon i neuromodulátor. Má jedinečné postavení v integraci mezi systémy stresové reakce, systémy odměny a zasahuje i do regulace homeostatických mechanismů řízených mozkovým kmenem. Jedna z jeho vývojově novějších funkcí, kterou přebírá u savců, je významná podpora savčí sociálnosti, párování, vazby matka–mládě (dítě). Zvyšuje významnost sociálních podnětů (Triana-Del Rio et al., 2019). Je jedním z hlavních hráčů pro vznik a rozvoj tzv. biobehaviorální synchronie, základního mechanismu lidské sociální interakce (Feldman, 2017; Uvnäs Moberg, 2016). OT systém moduluje mnoho funkcí v kortikolimbických okruzích, zejména v zapamatování a extinkci prožívané úzkosti a strachu (přímé spoje z hypothalamu do centrální amygdaly) (Triana-Del Rio et al., 2019). Moduluje vnímání a anticipaci bolesti (Herpertz et al., 2019) snížením aktivity VTA na bolestivé podněty a snížením aktivity v přední inzule (AIC). Zlepšuje také hojení ran (Sorg et al., 2017).

Endokanabinoidní systém (eCB)

V celém lidském mozku existuje důležitý neuromodulační systém tzv. endokanabinoidů, tedy kanabinoidů vlastních našemu tělu, aktivních přes anandamidový receptor. Přítomnost tohoto systému regulace synaptického přenosu byla prokázána na okruzích řídících odpověď na stresor (Gorzalka et al., 2008), tudíž tento systém nelze zcela opominout při popisu stresu a traumatu, jak bylo prokázáno na humánních i animálních modelech (Morena et al., 2016). V limbickém systému eCB reguluje a moduluje aktivaci HPA osy a mění vnímání bolesti, je tedy integrálním regulátorem stresové reakce. Během akutního stresu tonicky omezuje aktivaci této osy, zatímco

v průběhu chronického stresu dochází pod jeho vlivem k up regulaci limbické odpovědi, která tlumí neurální aktivitu a vede k habituaci na stresové podmínky. Narušení tohoto systému může způsobit neschopnost adaptovat se na chronický stres a může být součástí vulnerability ke stresem podmíněným poruchám, jako jsou deprese a PTSD. Endokanabinoidní systém vstupuje do dopaminergní transmise mezi VTA a NAc během chování motivovaného libým podnětem.

Glutamát (Glu)

Glutamát je nejhojněji zastoupený excitační neurotransmitter v lidském mozku. Hraje podstatnou roli v synaptické plasticitě, včetně regulace synaptické hustoty, synaptické reorganizace a dlouhodobé potenciace (LTP), která je v hipokampu a neokortexu základem paměti a učení. Proto bývá glutamát vnímán jako důležitá složka procesů kognice, učení, nálady a všech ostatních oblastí, kde neuroplasticita hraje podstatnou roli v adaptaci na environmentální stresory (Pal, 2021). Chronický stres vede k dysfunkci glutamátového systému, a právě to je důvodem zhoršené a snížené neuroplasticity – v hipokampu způsobuje zvýšené uvolňování glutamátu, narušení LTP a atrofii apikálních dendritů a potažmo deficity v učení a paměti. V prefrontální kůře dochází ke sníženému uvolňování glutamátu, narušení LTP i proliferace dendritů a narušení pozornosti; v amygdale nastává pokles uvolňování glutamátu, narušení LTP, dendritická hypertrofie, dále roste hustota dendritických trnů a zvyšuje se úzkost. Zdá se, že efekt chronického stresu je zprostředkován aktivací mikroglie, které odstartují neurozánětlivé změny, jež naruší intracelulární a extracelulární signalizaci. Dlouhodobě zvýšené množství glutamátu působí excitotoxicky na neurony a vede k odumírání nervových buněk u některých degenerativních chorob, jako je Alzheimerova nemoc, Parkinsonova nemoc nebo Huntingtonova choroba.

Mozkový neurotrofní faktor (Brain Derived Neurotrophic Factor, BDNF, abrineurin)

Tento protein je členem široké rodiny růstových faktorů neurotrofinů (která obsahuje mimo jiné také neurotrofin 3, 4 a 5), odvozených od nervového růstového faktoru (*nerve growth factor*, NGF) a exprimovaných neurony ubiquiterně v CNS, predominantně v mozkové kůře a hipokampu. Ale BDNF produkují i pericyty, astrocyty, mikroglie a endoteliální buňky – endoteliální buňky v mozkových cévách produkují 50krát více BDNF než kortikální neurony. Nejhojněji je BDNF zastoupen

v hipokampu, kůře a bazálním předním mozku, tedy oblastech, které jsou důležité pro učení, paměť a usuzování. BDNF se neomezuje jen na nervový systém, vyskytuje se i v těle, kardiovaskulárním systému, cévách, srdci, plicích, brzlíku, slezině i koster-ních svalech. Tento růstový faktor pozitivně ovlivňuje přežití a zapojení stávajících neuronů v CNS i na periferii a podporuje růst a diferenciaci nových neuronů a sy-napsí. Pozoruhodným zjištěním byl objev jeho schopnosti stimulovat v dospělém mozku neurogenezi, tvorbu nových neuronů z kmenových buněk.

Na tomto místě máme za sebou nezbytné množství neurovědních informací, které nám pomohou snáze se orientovat v následujících kapitolách a porozumět teoretickým základům i širším souvislostem odolnosti. Těchto několik stránek nám poslouží jako neurovědní mapa nebo slovník. Kdykoliv se ke zde uvedeným infor-macím můžete vracet a doplňovat si nové poznatky. Pojďme se tedy vydat na cestu za lidskou odolností.

Literatura

- Craig, A. D. (2003). Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Current Opinion in Neurobiology*, 13(4), 500–505.
- Cristinzio Perrin, C., & Vuilleumier, P. (2007). The Role of Amygdala in Emotional and Social Functions: Implications for Temporal Lobe Epilepsy. *Epileptologie*, 24, 78–89.
- Daskalakis, N. P., Bagot, R. C., Parker, K. J., Vinkers, C. H., & de Kloet, E. R. (2013). The tree-hit concept of vulnerability and resilience: towards understanding adaptation to early-life adversity outcome. *Psychoneuroendocrinology*, 38(9), 1858–1873.
- Feldman, R. (2017). The Neurobiology of Human Attachment. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(2), 80–99.
- Godoy, L. D., Rossignoli, M. T., Delfino-Pereira, P., Garcia-Cairasco, N., & de Lima Umeoka, E. H. (2018). A Comprehensive Overview on stress Neurobiology: Basic Concepts and Clinical Implications. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 12, 127.
- Gorzalka, B. B., Hill, M. N., & Hillard, C. J. (2008). Regulation of endocannabinoid signaling by stress: Implications for stress-related affective disorders. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 32(6), 1152–1160.
- Hegoburu, C., Tang, Y., Niu, R., Ghosh, S., Triana-Del Rio, R., de Araujo Salgado, I., Abatis, M., Alexandre Mota Caseiro, D., van den Burg, E. H., Grundschober, C., & Stoop, R. (2023). Social buffering switches fear to safety encoding by oxytocin recruitment of central amygdala „buffer neurons“.

- Herpertz, S. C., Schmitgen, M. M., Fuchs, C., Roth, C., Wolf, R. C., Bertsch, K., Flor, H., Grinevich, V., & Boll, S. (2019). Oxytocin Effects on Pain Perception and Pain Anticipation. *The Journal of Pain*, 20(10), 1187–1198.
- de Kloet, E. R., Joëls, M., & Holsboer, F. (2005). Stress and the brain: from adaptation to disease. *Nat Rev Neurosci*, 6(6), 463–475.
- Lammel, S., Ion, D. I., Roeper, J., & Malenka, R. C. (2011). Projection-Specific Modulation of Dopamine Neuron Synapses by Aversive and Rewarding Stimuli. *Neuron*, 70(5), 855–862.
- McEwen, B. S., Gray, J. D., & Nasca, C. (2015). 60 YEARS OF NEUROENDOCRINOLOGY: Redefining neuroendocrinology: stress, sex and cognitive and emotional regulation. *J Endocrinol*, 226(2), 67–83.
- Morena, M., Patel, S., Bains, J. S., & Hill, M. N. (2016). Neurobiological Interactions Between Stress and the Endocannabinoid System. *Neuropsychopharmacology*, 41(1), 80–102.
- Pal, M. M. (2021). Glutamate: The Master Neurotransmitter and Its Implications in Chronic Stress and Mood Disorders. *Front Hum Neurosci*, 15, 722323.
- Petrovický, P. (1999). Limbický systém, jeho struktury a spoje. *Psychiatrie*, 2.
- Porges, S. W. (2003). The Polyvagal Theory: phylogenetic contributions to social behavior. *Physiol Behav*, 79(3), 503–513.
- Roozendaal, B., McEwen, B., & Chattarji, S. (2009). Stress, memory and the amygdala. *Nature reviews. Neuroscience*, 10, 423–433.
- Sorg, H., Grambow, E., Eckl, E., & Vollmar, B. (2017). Oxytocin effects on experimental skin wound healing. *Innov Surg Sci*, 2(4), 219–232.
- Steffen, P. R., Hedges, D., & Matheson, R. (2022). The Brain Is Adaptive Not Triune: How the Brain Responds to Threat, Challenge, and Change. *Frontiers in Psychiatry*, 13, 802606.
- Sun, L., You, J., Sun, F., Cui, M., Wang, J., Wang, W., Wang, D., Liu, D., Xu, Z., Qiu, C., Liu, B., & Yan, H. (2021). Reactivating a positive feedback loop VTA-BLA-NAc circuit associated with positive experience ameliorates the attenuated reward sensitivity induced by chronic stress. *Neurobiology of stress*, 15.
- Triana-Del Rio, R., van den Burg, E., Stoop, R., & Hegoburu, C. (2019). Acute and long-lasting effects of oxytocin in cortico-limbic circuits: consequences for fear recall and extinction. *Psychopharmacology*, 236(1), 339–354.
- Uddin, L. Q., Nomi, J. S., Hébert-Seropian, B., Ghaziri, J., & Boucher, O. (2017). Structure and Function of the Human Insula. *J Clin Neurophysiol*, 34(4), 300–306.
- Uvnäs Moberg, K. (2016). *Hormón blízkosti. Rola oxytocínu vo vzťahoch*. Vydavateľstvo F.

2. Adaptace – dialektika mezi organismem a prostředím

Pojem adaptace má široký rozsah a obsah. Bývá často používán zejména v biologii, ale i mimo ni – jedná se totiž o klíčovou vlastnost přírodních i umělých systémů. V biologii tento pojem využíváme ve třech různých souvislostech, tj. s ohledem na evoluční procesy, na stav populace nebo s ohledem na jednotlivce. Může se jednat o evoluční proces přirozeného výběru, který napomáhá organismu vyrovnat se s prostředím, v němž žije. Výsledkem tohoto procesu je tzv. evoluční zdatnost (*evolutionary fitness*). V kontextu evoluční adaptace se pojem adaptace používá k označení stavu, kterého populace dosáhne v průběhu adaptačního procesu. Na úrovni jedince můžeme pojem adaptace používat jako označení fenotypového adaptivního rysu, vlastnosti, která se během adaptace vynořila v procesu přírodního vývoje a uchovala se pro svou výhodnost pro přežití a reprodukci. Adaptaci tak chápeme ve fylogenetickém (evolučním) i ontogenetickém (individuálním) smyslu slova. Evoluční perspektiva umožňuje vidět širší souvislosti ontogenetického vývoje (Peckham, 2023).

Pro účely této publikace budeme vycházet z pojetí adaptace jako neustálého a dynamického procesu interakce chování organismu a vlivů prostředí, jehož cílem je přizpůsobit se konkrétním podmínkám a optimalizovat prosperitu a fungování organismu pro jeho zachování. Adaptace je hlavní vývojový úkol a cíl všech organismů v jejich ekologické nise (Ulrich-Lai & Herman, 2009). V průběhu vývoje čelí organismus různým výzvám a nárokům prostředí. Tento tlak prostředí vede k tomu, že jsou vybírány a utvářeny takové vlastnosti, které organismu dovolí se dále množit a prospívat. Jedinec je „nucen“ se neustále adaptovat na měnící se nároky prostředí a zároveň si v určitém rozsahu udržovat rovnováhu vnitřních procesů. Jedním z důležitých aspektů lidského života je schopnost vyrovnávat se se zátěží každodenního života, stresem a různými nepříznivými událostmi, které nás na naší životní pouti potkají. Člověk je vystavován nejrůznějším vlivům přicházejícím z fyzikálního okolí, mezilidského prostoru i sociokulturního okruhu. Musí vynakládat energii a úsilí, nevědomě i cíleně, aby „ustál“ konfrontaci se všemi okolními vlivy.

Výzkumníky vždy zajímala otázka, na jakých faktorech závisí efektivita a úspěšnost lidské adaptace. Pozitivní výsledek konfrontace s nároky života se odvíjí nejen od dlouhodobých vlastností daného jedince, ale i od aktuálně použitých strategií zvládání (*coping*) (Paulík, 2017). Resilienci neboli odolnost můžeme popsat jako

jednu z mnoha facet adaptace jako komplexního dynamického systémového biologického jevu, který v sobě skrývá neoddiskutovatelný význam pro klinickou praxi, vědu a výzkum i kulturní a politickou organizaci lidského společenství.

2.1 Adaptace a stres

Během posledních padesáti let se naše poznatky o stresu značně proměnily. Byli jsme obohaceni o nové neurobiologické souvislosti, týkající se širšího řízení stresové reakce, které nám rozšířily obzory vnímání a porozumění této tematické. Omezené biologické pojetí stresu jako reakce na ohrožení se v průběhu času stalo neudržitelným. Jeho postupným propojováním s dalšími a dalšími informacemi se dostáváme k pojetí stresu jako neustále probíhajícího a adaptivního procesu vyrovnávání se s měnícím se prostředím, který jedinci umožňuje předvídat a zvládat budoucí výzvy (McEwen & Akil, 2020). Stresová reakce je přirozená a tělu vlastní, nelze ji považovat za nebezpečnou nebo toxickou, protože ve své normální formě je hluboce adaptivní. Stresová reakce moduluje a integruje mnoho fyziologických funkcí, od molekulární úrovně po úroveň kognitivních funkcí vyššího řádu a potažmo jedince jako celku (Lo Martire et al., 2024). Biologii stresu doplňuje třeba i epigenetika anebo afektivní a sociální neurověda. Tyto vědní obory nám poskytují přesahy do fyziologie emocí a patofyziologie psychiatrických poruch, v jejichž základu stojí emoční dysregulace (Beauchaine & Cicchetti, 2019; Cludius et al., 2020). Eminentně nás zajímá kritické propojení a interakce mozku a těla, které v sobě skrývají povahu naší odpovědnosti na zátěž, respektive otázku vulnerability anebo resilience (Marazziti et al., 2024).

Dlouhou dobu bylo zkoumání adaptace organismu pod nadvládou imperativu Cannonovy homeostázy (Cannon, 1915). Snahou a cílem organismu mělo být vyrovnávání se s nároky zevního prostředí za současného udržení homeostázy, tj. snahy organismu si zachovat stabilitu vnitřního prostředí a udržovat důležité parametry vnitřního prostředí konstantní (Cannon, 1915). Odchyly od normy by měly být korigovány rychle a automaticky lokálními zpětnovazebními mechanismy. Z této premisy vycházel fyziologický výzkum minulého století, který se soustředil na studium izolovaných orgánů a tkání, jež vědci vystavovali různým podmínkám (Sterling & Eyer, 1988). Také proto si dlouhou dobu vědci mysleli, že tělo se organizuje automaticky lokálně, nezohledňovali a ani nemohli zohledňovat řízení těla jako celku cestou tří hlavních kontrolních soustav: nervové, endokrinní a imunitní. Na druhou stranu nám těmito postupy poskytli nezbytné střípky vědomostí, ze kterých můžeme nyní stavět vyšší konceptuální celky. Jak se později ukázalo, měření vnitřního prostředí

prováděné na neporušeném, neuspaném organismu odpovídalo homeostatickému modelu jen velmi nepřesně (Sterling & Eyer, 1988). Vnitřní prostředí totiž není nikdy konstantní, neustále se mění i bez vlivu podnětů z prostředí. Epidemiolog Peter Sterling a neurobiolog Joseph Eyer (1988) ukazují, že organismus jako celek reaguje na změny s anticipací, tedy v předstihu. Dokazují to na banálním příkladu regulace krevního tlaku, který se zvyšuje chvíli před tím, než vstaneme ze sedu. Pokud by se krevní tlak měl regulovat zpětnovazebně, tedy až poté, co tělo zaznamená snížení tlaku krve, bylo by to neuvěřitelně pomalé a neefektivní. A možná bychom si tak vůbec nestoupili nebo bychom omdleli při každém pokusu si stoupnout. Proto tito vědci přišli s konceptem allostázy, nahrazující dosavadní převládající homeostatický model, velmi dobře doplňující klasické výzkumy Cannona (1915) a Seyleho (1936, 1950, 1976). Allostatický model totiž obsahuje anticipační mechanismy, které – jak se zdá – jsou pro fyziologickou regulaci klíčové.

V roce 1976 použil Hans Selye termín „stres“ pro nespecifickou odpověď těla na jakoukoliv zátěž, které organismus čelí (Selye, 1976; Večeřová-Procházková & Honzák, 2008). Tento termín nijak neurčuje, zda je podnět pozitivní, nebo negativní, i když to má pro organismus zcela zásadní důsledky. Popsal tuto nespecifickou reakci jako všeobecný adaptační syndrom (*general adaptation syndrome*, GAS). Vycházel z celé řady svých fyziologických výzkumů, během kterých vystavoval zvířata stresu a pozoroval u nich rozvoj symptomů různých onemocnění. Některé jeho závěry mohou činit dojem o propojení stresu spíše s patologií a maladaptací. Sám Selye si tento nedostatek uvědomoval a pokusil se mu vyhnout rozšířením svého pojetí na psychosociální oblasti života lidí vystavených stresu. Formuloval koncept psychosociálního stresu (Večeřová-Procházková & Honzák, 2008) a rozlišil stres na dobrý (eustres) a neblahodárný (distres) (Kupriyanov & Zhdanov, 2014). V dalším vývoji došlo k propojení Cannonovy představy o stresu jako akutní reakci na bezprostřední ohrožení a Selyem popsaných dlouhodobých konsekvencí stresové reakce do jednotného obrazu stresu (Večeřová-Procházková & Honzák, 2008). Chápání vlivu stresu se rozšiřovalo z pouhé fyziologie na interdisciplinární přístup stojící na čtyřech pilířích: (a) fyziologické projevy, (b) změny v chování, (c) proměny subjektivního prožívání a (d) reagování kognitivních funkcí. V tu chvíli se ke slovu dostávali výzkumníci z oblasti psychologie, kteří poukazovali na specifika stresové reakce lidí a na nezbytnost zohlednění jejich subjektivního prožívání a kognitivního zhodnocení stresoru. Mezi první významné psychologické teorie stresu patří i Lazarusova teorie kognitivního zhodnocení stresoru a vlastních zvládacích schopností (Folkman et al., 1986). Psychologické proměnné vstupující do interakce mezi organismem a prostředím se považovaly za příčinu rozdílů v interindividuální reaktivitě na stres. Psychologické teorie stresu rozšířily původní rovnici propojující stresový podnět a stresovou reakci

o subjektivní prožívání jak stresoru, tak stresové reakce, např. kognitivně-aktivační teorie stresu (Ursin & Eriksen, 2004). Postavení psychologických faktorů v reakci na stres zachycuje obrázek 3.

V přínosu Petera Sterlinga a Josepha Eyeru vidíme potenciál propojit fyziologické i psychologické teorie stresu na dostatečně obecné úrovni do smysluplného koherentního celku. Allostatický model je komplexní, zohledňuje poznatky výzkumů šedesátých, sedmdesátých i osmdesátých let. Proto rozšiřuje možnosti klasického fyziologického pojetí o vstup ryze psychologických funkcí, jako jsou vyšší kognitivní funkce, usuzování, hodnocení, vzpomínky, plánování, hodnoty a morální usuzování, které nelze nijak upozadit v rámci pojetí stresu u lidí. Umožňuje také plauzibilní vysvětlení vzniku odolnosti a vulnerability vůči zátěži (stresu, nemoci, vlivům prostředí) i obrovského rozptylu individuálních rozdílů v této sledované dimenzi, která vyrůstá na interakci genetické výbavy jedince a rozmanitých vlivů prostředí (Crofton et al., 2015). V poslední době byl allostatický model obohacen o nové neurobiologické poznatky do podoby zcela zásadního rozsáhlého regulačního systému, který nazýváme stresový systém nebo systém stresové odpovědi (Godoy et al., 2018), integrující různé mozkové struktury do vzájemné kooperace během rychlé detekce jevů v prostředí a jejich interpretaci jako reálné nebo potenciální ohrožení pro organismus (Dedovic et al., 2009).

2.2 Allostáza⁴ a allostatická zátěž

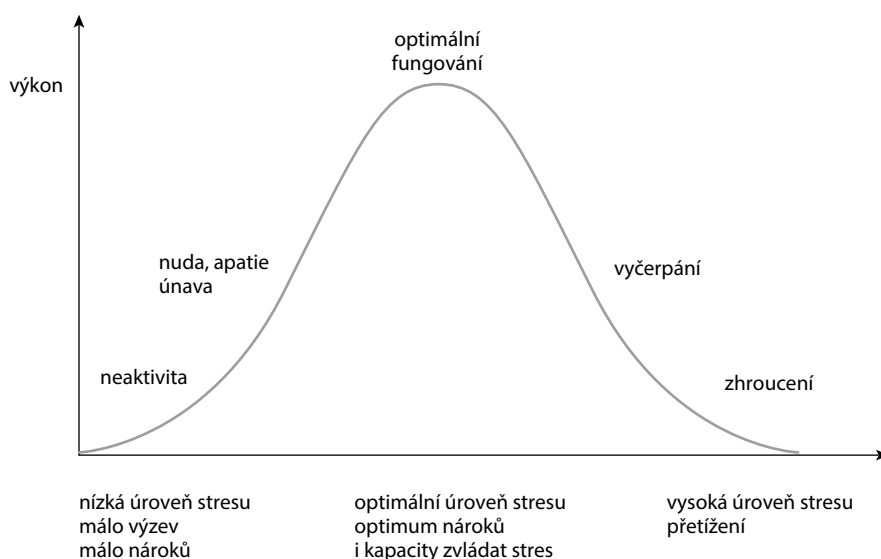
Sterlingův a Eyerův model allostázy nahrazuje dosavadní pojetí homeostázy, které nebylo vhodné pro popis řízení rovnováhy v dynamických systémech (Sterling & Eyer, 1988). Allostatické mechanismy inherentně obsahují anticipační mechanismy, které jsou pro fyziologickou regulaci zásadní. Základním principem je udržování stability cestou změny – k udržení stabilního vnitřního prostředí musí organismus kolísat ve všech parametrech svého vnitřního prostředí v přijatelném rozmezí a musí své vnitřní prostředí adekvátně vyvažovat vzhledem k požadavkům prostředí. Oproti jednoduchým homeostatickým mechanismům (lokální regulační kličky, feedback i feedforward) zahrnuje allostatický model celý organismus, celé tělo a mozek. Jedná se o komplexnější formu regulace, která umožňuje jemné vyvažování zdrojů na

⁴ Allostáza je poprvé zmiňována McEwenem a Stellarem v roce 1993 jako zátěž pro tělo vzniklá činností systémů pod zatížením výzvami nebo metabolickými změnami (McEwen & Stellar, 1993).

jedné straně a potřeb na straně druhé. Pouhá zpětná vazba v homeostatickém modelu nemůže mít informaci o budoucích potřebách a nárocích. Allostáza dovoluje kontinuální reevaluaci potřeby a kontinuální opakované přizpůsobování se všem parametrům směrem k novému východisku. Poskytuje tak organismu nejefektivnější možné využití jeho zdrojů.

Z již uvedeného vyplývá, že allostatické mechanismy jsou dobře přizpůsobeny k anticipaci změněné potřeby a dosahování potřebného přizpůsobení se ještě předtím, než nastane nutnost se přizpůsobit. V porovnání s tím jsou mechanismy homeostázy pomalejší a rigidnější. Homeostatické řízení je efektivní na lokální úrovni a na jeho základech se rozvíjí komplexnější řízení allostatické, jehož nezbytnost se zvyrazňuje s vyšší úrovní řízení a se složitostí řízeného organismu. Hovoříme o prediktivní regulaci vnitřního prostředí, jejíž hlavním hybatelem i cílem je mozek. Allostáza zabezpečuje optimální flexibilitu při reagování na anticipované změny a výzvy (Pfaltz & Schnyder, 2023).

Na udržování allostázy se podílí téměř všechny biologické systémy v těle. Vystává otázka, co řídí řídicí systémy – imunitní systém, endokrinní systém a potažmo



Obr. 2 Graf závislosti výkonu a úrovně stresu popisující princip allostatické zátěže a vzniku allostatického přetížení. Je variantou klasického Yerkes-Dodsonova zákona a ukazuje nelineární povahu tohoto vztahu

Zdroj: vlastní zpracování dle Pauknerové, 2006, s. 172

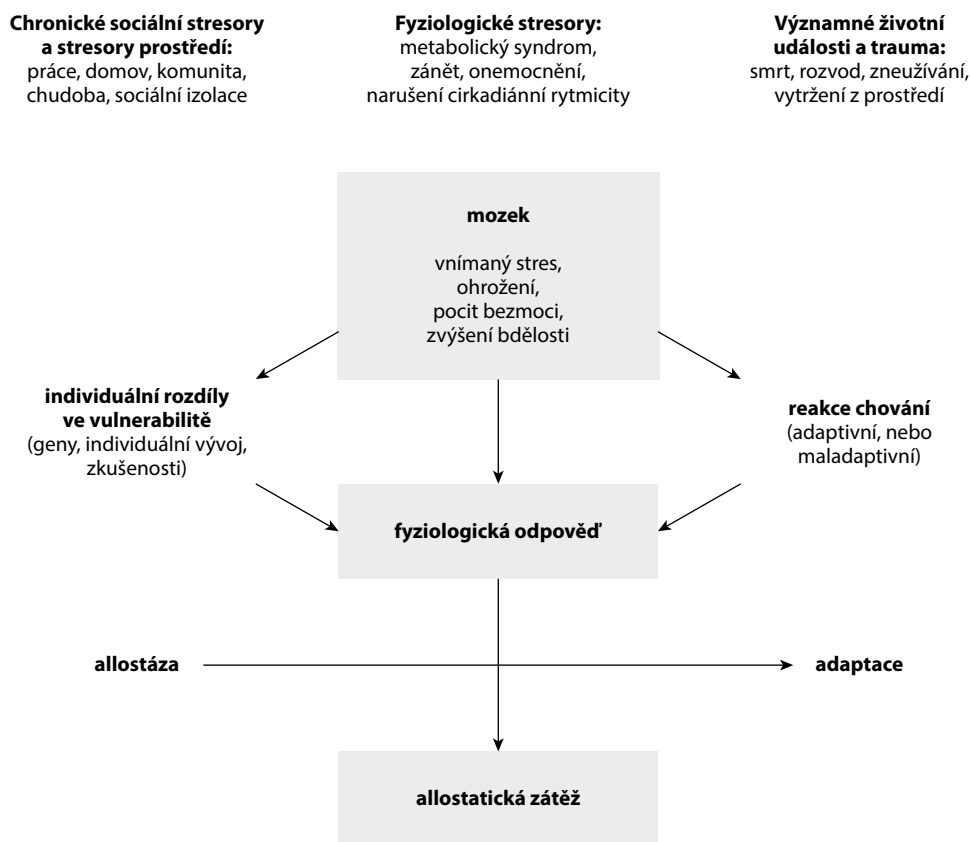
i nervový systém sám? Allostatický model nabízí řešení a ukazuje, že klíčové postavení v řízení anticipačních pochodů nese úroveň aktivace (arousalu) organismu (Jing et al., 2009). Úroveň aktivace organismu je ústředním uzlem v regulaci základních psychofyzilogických funkcí a zároveň i tím, co napomáhá spouštět stresovou reakci. Spuštění a ukončení stresové reakce stejně jako znovunavrácení k původní klidové aktivitě je funkcí koordinované aktivace a deaktivace neuroendokrinního a autonomního stresového systému. Společná stresová odpověď je zprostředkována funkčně se překrývajícími okruhy limbického systému, hypothalamu a mozkového kmene. Tyto oblasti se zároveň spolupodílejí na řízení cirkadiánních rytmtů (McEwen, 2016), bdělosti a spánku, na fungování paměti a na systému odměny. Vzájemný přesah a průnik jim umožňuje modulovat reakci na stres s ohledem na předchozí zkušenosti a anticipované následky. Podíl na neuroendokrinní a autonomní regulaci je vyvažován podle druhu a intenzity stresu (Ulrich-Lai & Herman, 2009). Reakce na stres se sice vybavuje automaticky, nicméně musí být na různých úrovních modulovatelná. Za hlavní modulátor bývají považovány stavy aktivace organismu, neboť mu umožňují vypořádat se se specifickými nároky prostředí po stránce fyziologické, behaviorální i emoční.

K řízení těla a mozku jako celku a k vyvažování allostatických fluktuací jsou nezbytné četné bidirekční spoje mezi mozkem a tělem. To bývá někdy označováno jako ztělesnění (*embodiment*). Informace o stavu našeho vnitřního prostředí jsou neustále přinášeny do mozku cestou přímých inervací ze všech částí těla, i těch nejmenších, včetně metabolicky aktivních oblastí kostí, cév, orgánů imunitního systému, svalových vláken, stěn zažívací trubice a plicních sklípků, a to zejména do oblastí, které se podílejí na vnitřní signalizaci, tedy imunitní a endokrinní systém. Mozek vteřinu po vteřině mapuje vnitřní prostředí těla. Novější funkční neuroanatomické práce popisují aferentní neurální systém primátů a lidí, který reprezentuje všechny aspekty fyziologického stavu těla (Craig, 2003). Systém interocepce⁵ zprostředkovává

⁵ Interocepce je označení pro percepci tělesného stavu (Ceunen et al., 2016). Existují různá pojetí od užšího vymezení, které považuje interocepci za aferentní signalizaci z viscerálních orgánů, až po širší chápání interocepce jako percepcie vnitřního stavu těla, integrující informace z volných nervových zakončení kdekoli v těle. Sem patří unikátní přínos Buda Craiga, který považuje interocepci za základ veškerých aspektů vztahujících se k self. Podobným způsobem upozorňuje na důležitost interocepce pro běžné fungování i Antonio Damasio ve své hypotéze somatických markerů (Damasio, 2000). Moderní výpočetní teorie, využívající bayesovský přístup na vysvětlení fungování řízení těla a mozku v prediktivním módu, uvažují o mozku jako o „stroji“ na predikce. Mozek pravděpodobně aplikuje interoceptivní inference (Allen et al., 2022) a jako jejich podklad používá interocepci. Prediktivní processing (Seth, 2015) může fungovat jako univerzální proces v centrální nervové soustavě, kterým lze vysvětlit veškeré naše fungování (Haker et al., 2016; Chaudhuri & Fiete, 2016).

kontinuální a vcelku intenzivní tok informací mezi vnitřním prostředím a mozkem. Někteří výzkumníci se domnívají, že tento informační proud je s velkou pravděpodobností základem našeho tělesného já (self) a zdrojem našich subjektivních pocitů, emocí a sebeuvědomování (Ceunen et al., 2016; Chen et al., 2021; Craig, 2002, 2015). Schopnost adaptace organismu můžeme potom popsat jako schopnost mozku simulovat a predikovat potenciální výsledky během konfrontace a zvládat zátěž a ohrožení (Steffen et al., 2022).

Pro vysvětlování vlivu stresu na organismus a jeho schopnosti adaptovat se pod vlivem zátěže (odolnosti nebo vulnerability) je užitečné teoretické zakotvení v pojetí



Obr. 3 Znázornění efektu vystavení se stresu vedoucího buď k adaptaci a posílení odolnosti, nebo k přetížení a vulnerabilitě. Mozek je ústředním orgánem, který vnímá a odpovídá na to, co jedinec považuje za stresující

Zdroj: vlastní zpracování dle McEwena a Akila (2006; 2020)