

Vliv askorbátu na diferenciaci embryonálních kmenových buněk, včetně jejich transformace do neuronů, je spojen se zvýšením exprese genů zapojených do tohoto procesu. Vitamin C zvyšuje expresi růstového faktoru BDNF (mozkového neurotrofického faktoru), který přispívá k rozvoji mozku nejen podporou růstu z diferenciaci neuronů a jejich synapsí, ale i ochranou neuronů, například aktivací enzymu, který přispívá k přežití mozkových buněk i zvýšením exprese enzymů endogenního antioxidantního systému v CNS (1, 2).

Antioxidační ochrana neuronů

Základní význam má ochrana všech oddílů CNS před oxidačním stresem, způsobeným reaktivními sloučeninami kyslíku (reactive oxygen species, ROS). Vitamin C zabezpečuje tuto funkci prostřednictvím ochrany buněčných membrán buněk CNS. Kromě toho aktivuje i další antioxidanty jako je vitamin E. Tento ochranný vliv vitaminu C se týká i neuronálních synapsí. Integrita presynaptických a postsynaptických membrán je základním předpokladem pro uvolňování neurotransmiterů, vazebnou funkci receptorů a přenos signálů mezi neurony. Ochranný vliv uplatňuje vitamin C i uvnitř neuronů, kde by zvýšená hladina ROS zásadně ohrožovala svým působením buněčnou morfologii i funkci. Při deficitu vitaminu C vznikají vlivem ROS v buňkách nebezpečné molekuly malondialdehydu (MDA), které vedou k rozvoji neurodegenerativních onemocnění. Tento účinek má zásadní význam během vývoje dítěte v prenatalní i postnatalní fázi, kdy nízká ochrana neuronů následkem nedostatečné hladiny vitaminu C může vést k vývojovým vadám a poškození mozku (1, 3).

Syntéza kolagenu – význam pro myelin a mozkové cévy

Vitamin C je nezbytný pro fyziologický vývoj a funkci mozkových cév i prostřednictvím své role při syntéze kolagenu jako základní složky cévní stěny. Této syntézy se účastní jako kofaktor enzymu, který katalyzuje vznik terciární struktury kolagenu – trojitě šroubovice (helixu), která dodává cévám potřebné pružnosti. Proto má vitamin C zásadní význam i pro zdravý vývoj mozkových cév, a tím i pro funkci CNS. Vitamin C také podporuje tvorbu

myelinových pochev neuronů prostřednictvím své role při stabilizaci kolagenových helixů za vzniku bazální laminy, která je nezbytná pro myelinizaci, a dále podporou transkripce promyelinizačních genů (1, 3).

Syntéza neurotransmiterů, přenos signálů

Vitamin C je zapojen do přenosu signálů mezi neurony především tím, že se účastní jako kofaktor reakcí, v kterých vznikají neurotransmitery dopamin, adrenalin a noradrenalin (včetně konverze dopaminu na noradrenalin). Vitamin C zajišťuje také adekvátní signalizaci zprostředkovanou receptory pro kyselinu gama-aminomáselnou (GABA) a N-methyl-D-aspartát (NMDA). Nedostatek vitaminu C v mozku vede k různým poruchám signalizace, což má své následky v oblasti emocí (poruchy nálady – deprese, úzkost), učení a paměti (1, 3).

Neuroimunitní aspekty

Jak ukázal medicínský výzkum, imunitní a nervový systém jsou úzce propojeny. Neuroimunitní systém je systém struktur a procesů interakce mezi nervovým a imunitním systémem, které chrání neurony před patogeny. Udržuje selektivně propustnou hematoencefalickou bariéru, zprostředkovává neurozáněť, hojení poškozených neuronů, a mobilizaci obrany proti patogenům. Na rozdíl od periferního systému je neuroimunitní systém v CNS složen především z gliových buněk; z buněk imunitního systému jsou v CNS přítomny žírné buňky, v průběhu neuroimunitní reakce mohou ale periferní imunitní buňky překročit hematoencefalickou bariéru, aby mohly reagovat na patogeny přítomné v mozku. Proto ochrana nervového systému před infekcemi je velmi důležitým aspektem. Vitamin C je potřebný pro všechny složky antibakteriální imunity. Obdobně důležitý je vitamin C pro antivirovou imunitu. Základním prostředkem vrozené protivirové imunity je interferon-1, který po průniku virů vytváří většina buněk. Důležitou složkou jsou dále NK buňky, makrofágy. V získané imunitě hrají významnou roli protilátky produkované B lymfocyty. V buněčné specifické imunitě jsou důležité cytotoxické T lymfocyty. Hladina vitaminu C ve všech imunitních buňkách je za fyziologických poměrů až

stónásobně vyšší než v plazmě. Vitamin C je potřebný pro všechny složky antibakteriální i protivirové imunity (4, 5).

Vliv nedostatku vitaminu C na centrální nervový systém

Prenatální účinky nedostatku vitaminu C

Rozsáhlá buněčná metabolická aktivita rostoucího plodu indukují vysoké hladiny ROS, což vede k oxidačnímu stresu a peroxidaci lipidů během těhotenství. V kombinaci s nezralou antioxidační obranou to znamená, že vyvíjející se plod je zvláště citlivý na nepříznivé účinky nedostatku vitaminu C. Plod závisí výhradně na zásobování od matky; askorbát je transportován přes placentu prostřednictvím transportéru SVCT2. S blížícím se porodem se zvyšuje kumulace vitaminu plodem; u novorozenců za fyziologických podmínek je plazmatická hladina askorbátu vyšší než u matek. To svědčí o velmi vysoké potřebě ochrany struktur CNS před oxidativním stresem v této fázi vývoje. Vysoká hladina vitaminu v mozku splývá s vrcholem celkového růstu mozku („spurt růstu mozku“) krátce před porodem a v prvních měsících po narození. Proto je dostatečné zásobení organismu matky během gravidity i laktace velmi důležité. Deficit vitaminu C může vést např. k chybnému vývoji dopaminergních neuronů, poruše epigenetiky a proto i poruše načasování správného vývoje v oblasti CNS. Narušená může být exprese neurotrofických růstových faktorů, což může vést k patologickým změnám ve vývoji mozkových struktur. Například v etiologii syndromu ADHD (attention deficit hyperactive disorder) se udává deficit vitaminu C jako jeden z možných etiologických faktorů.

Vitamin C je klíčovým faktorem pro optimální růst plodu; proto, jak ukázaly studie, nízký příjem vitaminu těhotnou ženou je spojen s omezením růstu plodu a nižší porodní hmotností novorozence. Omezení intrauterinního růstu a nízká porodní hmotnost je spojena se zvýšeným oxidačním stresem, neurozánětem, perinatální úmrtností a trvalými deficity v učení a paměti u dětí a dospívajících. Kromě toho je nízký příjem vitaminu C během těhotenství spojen se zvýšeným rizikem předčasného porodu, preeklamp-