

FYZIOLOGIE A PATOFYZIOLOGIE RYTMICKÝCH ZMĚN V ORGANISMU

Prof.RNDr R.Petrásek,CSc

**Přírodovědecká fakulta Masarykovy university
B r n o 2010**

I. ÚVOD

Všechny živé organismy - ať již rostliny či živočichové - existují v určitých vnějších podmínkách, které na ně působí. Většina těchto externích vlivů nepůsobí konstantně, ale mění se v průběhu času, tj. mění se rytmicky. Frekvence těchto rytmických změn vnějšího prostředí je u různých vlivů odlišná, mění se i u téhož vlivu v průběhu dne, sezóny, roku či v jiných -kratších či delších - intervalech. Jako příklad si můžeme uvést např. světlo - jeho intenzita i spektrální složení se může měnit v průběhu dne či sezóny roku, vliv světla závisí i na zeměpisné poloze. Obdobně to platí o teplotě, atmosférických i kosmických vlivech. Rozsah frekvencí změn vnějších vlivů je velice široký, od milionů za vteřinu až po lx za desítky tisíc let.

Vzhledem k úzkému vztahu živých organismů a vnějších podmínek je pochopitelné, že i u organismů můžeme pozorovat - ve všemožných dějích a funkcích - **rytmické změny**, opět se značně odlišnou frekvencí - od tisíců za sekundu až po změny přicházející za desítky let či ještě déle. Životní děje tedy probíhají v cyklech, jejichž frekvenci je možné zjišťovat a hledat souvislost s rytmy vnějších podmínek. Možnosti člověka sledovat rytmické změny probíhající ve vnějších podmínkách i v životních funkcích se s rozvojem přístrojové techniky - včetně počítačů - stále zvětšují a zlepšuje se také možnost postihnout příčinné souvislosti rytmů prostředí a v organismu probíhajících rytmických změn. Situace je o to složitější, že na organismus nepůsobí izolovaně pouze jeden vliv a v organismu samém nejde o jednu soustavu, na kterou externí vlivy působí, ale o celý jejich komplex. Studium rytmických změn probíhajících v organismu a jejich souvislostí s rytmickými změnami ve vnějším prostředí dává tak další možnost studia vzájemných vztahů organismů a obklopujících ho podmínek - jde o jiný aspekt, než při sledování adaptačních procesů, nebo spíše o dvě strany téže mince.

Civilizace nás vede k tomu, že neustále porušujeme dlouhodobé biorytmy - zaměňujeme noc a den, rychlými dopravními prostředky (letadla) přeskakujeme časová pásma a tím dochází k narušení řady biorytmů i k různým z toho vyplývajícím obtížím, jako jsou poruchy spánku, kardiovaskulární resp. gastrointestinální obtíže aj.

Proto se problematika **chronobiologie**, jak se také tento nový vědní obor zabývající se biorytmy nazývá, stává důležitý z hlediska nejrůznějších oblastí lidské činnosti od sportu přes průmysl až třeba po kosmické lety. Znalost rytmických změn různých životních funkcí napomáhá nejen tyto změny lépe pochopit, ale též je na základě našich vědomostí i ovlivňovat. Proto se také studium rytmických změn dostalo do centra pozornosti v celé biomedicině, je přece eminentně důležité, že se např. mění vnímavost na různé léky v průběhu dne, nebo patologicky se mění některé biorytmy v průběhu různých onemocnění atd. Obdobně může znalost různých důležitých rytmů a snaha o jejich zachování i za extrémně změněných podmínek výrazně napomoci zdárnému přizpůsobení se těmto podmínkám.

Literatura o rytmických změnách v živém organismu je extrémně rozsáhlá a zahrnuje všemožné aspekty této problematiky. Předložená skripta nemohou pochopitelně postihnout všechny aspekty této složité problematiky, měla by však posluchačům poskytnout základní informace a stát se tak jakýmsi úvodem do studia, které musí zahrnovat řadu monografií (seznam viz v kap. 9) a recentní jednotlivé publikace. Pokud skripta přispějí také k většímu zájmu o problematiku rytmických dějů - a to nejen u studentů srovnávací fyziologie - tím lépe.

2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O RYTMICKÝCH DĚJÍCH

2.1. Základní pojmy Dříve než budeme podrobněji probírat rytmické děje probíhající v organismu rostlin či živočichů, je potřebné stručně uvést některé základní údaje, zabývající se historií výzkumu biorytmů, jejich dělením, návazností na rytmy vnějších podmínek a pod. Toto krátké vysvětlení je potřebné pro pochopení detailnějších pasáží v dalších částech skript, kde také budou některé pojmy či děje dále vysvětleny.

Hned na začátku je však nutné uvést některé základní pojmy, které budeme v dalším textu používat:

- pod pojmem **rytmus** rozumíme pravidelné kolísání hodnot (fyzikální veličiny stejně jako životní funkce) vyznačující se periodickým opakováním. Rytmický děj můžeme znázornit jako sinusoidální vlnu - viz obr. č. 1.
- **perioda**, to je čas, který vyžaduje daný cyklus k jednomu proběhnutí (může to být zlomek vteřiny, 1 den, měsíc, rok či jakýkoliv jiný časový interval)
- **frekvence** udává počet cyklů, které proběhly za daný časový úsek
- **amplituda** udává rozdíl mezi maximem resp. minimem cyklu a výchozí úrovní
- **fáze** označuje polohu cyklu - její posun může být vyjádřen v $^{\circ}$ kruhové výseče (např. při změně fázování o 180° u 24-ti hodinového cyklu se přesune maximum z 7.00 hod. na 19.00 hod.) Vztah amplitudy, frekvence a periody časové ukazuje obr. č. 2.

Rytmy dělíme na dvě základní skupiny a to rytmy vnějších podmínek, tj. **externí rytmy** a rytmy, které probíhají v živých organismech, tj. **biorytmy**. Postupně si probereme oba tyto druhy rytmů a vztahy, které mezi nimi existují.

2.2. Historie výzkumu rytmických dějů

Není nadsázkou říci, že již naši pravěcí předkové získávali první zkušenosti s tím, že různé podmínky, důležité pro jejich život, se v průběhu dne i sezóny mění. Museli se přece přizpůsobit tomu, že intenzita světla i teploty se výrazně mění v průběhu dne i ročních období. Tím se zásadním způsobem měnily podmínky pro jejich obživu i pro možnost přežití. Dá se tedy říci, že pozorování změn rytmicity vnějších podmínek do značné míry rozhodovalo nejen o tom, **jak** přežije, ale o tom, zda daný jedinec či kmen **vůbec přečká** tyto změny či nikoliv. Totéž přece platí o řadě rostlin či živočichů doposud – buď se organismus určitým životně důležitým rytmicitám přizpůsobí, nebo to nedokáže a zahyne resp. vyhyne jako druh.

Ve své historii dokázal člověk poměrně velice přesně poznat různé rytmicky se opakující děje v přírodě a využívat je ke svému prospěchu. Proto není divu, že již filosof ARISTOTELES (384 - 322 př.n.l.) popisuje periodické změny velikosti pohlavních orgánů u mořských ježovek za úplňku. Celá řada různých pozorovatelů v různých místech na Zemi si všimla závislosti různých životních projevů u nejrůznějších organismů na fázi zemské rotace, na oběhu Měsíce kolem Země či Země kolem Slunce. Slavný systematik LINNÉ začátkem 18.století využil svých znalostí o tom, že různé květiny rozevírají a naopak uzavírají své květy ve zcela určitou dobu, k sestrojení "květinových hodin", které velice přesně čas v průběhu dne dokázaly určit.

Devatenácté století přineslo velké pokroky v přírodních vědách, což znamenalo nejen zvýšení zájmu o pozorování různých jevů v přírodě, včetně rytmických změn, ale obohatilo také metodické možnosti např. o přesný teploměr. To umožnilo sledovat nejen změny aktivity či rozmnožování (včetně řady s tím spojených dějů, jako barvoměny) ale i tělesné teploty. Dvacátá léta minulého století přinesla další mezník ve výzkumu rytmických dějů, když FORSGREN (1927) popsal 24-ti hodinovou rytmicitu prvních metabolických parametrů - jaterního glykogénu a vylučování žluče. Od té doby se paleta nejrůznějších hormonů, minerálů, vitaminů a dalších biologicky důležitých látek velice rozrostla, zejména v závislosti na přibližně 24-ti hodinovém rytmu. O této rytmicitě také pojednává většina všech doposud uveřejněných studií, i když jiným periodicitám byla pochopitelně též věnována pozornost.

Ještě před II. světovou válkou vznikla mezinárodní společnost pro výzkum biologických rytmů jako pro

nový vědní obor. Největší rozmach pak uvedená problematika zaznamenala v padesátých a šedesátých létech a zájem o výzkum biologických rytmů stále pokračuje, naopak lze zaznamenat další jeho rozšíření, mj. v souvislosti se řešením otázek kosmických letů. Také u nás byla a je věnována otázkám výzkumu rytmických dějů u živočichů a člověka pozornost, mj. zjišťováním rytmu aktivity či spotřeby potravy u různých živočišných druhů (mj. FÁBRY 1955), stejně jako některých metabolických parametrů (např. AHLERS a spol. 1975, MIKESKA a PETRÁSEK 1977 a pod.). V současné době se do hloubky věnuje této problematice ILLNEROVÁ, která se soustřeďuje zejména na problematiku cirkadiálního rytmu krysí pineální N-acetyltransferázy a melatoninu a jejich ovlivnění experimentálními podmínkami (např. ILLNEROVÁ 1989).

3. EXTERNÍ RYTMY, JEJICH PERIODICITA A VLIV NA ORGANISMUS

Různé vnější podmínky mají svoji rytmicitu, tj. kolísání mezi určitým maximem a minimem, v závislosti na čase, platí to např. pro světlo či teplotu, ale i pro řadu dalších podmínek. Tyto rytmy nazýváme *rytmy externí*. Vnější vlivy, které se mohou uplatnit při biorytmech, nazýváme **synchronizátory**, ty mohou být dominantní (silné), slabé nebo jemné.

Dominantními synchronizátory jsou zejména světlo a teplota, do stejné skupiny patří i příjem potravy a vliv obklopujícího prostředí (sem - zejména u člověka - patří i zvukové signály). Pokud jsou dominantní synchronizátory přítomny, uplatňují se tak, že biologické rytmy skutečně ovlivňují, to znamená, že je synchronizují.

Slabé synchronizátory zahrnují např. meteorologické vlivy, jako je tlak či vlhkost vzduchu, a pod. O těchto synchronizátorech se původně předpokládalo, že se mohou uplatnit pouze v případě, že nepůsobí synchronizátory dominantní. Situace však není tak jednoduchá. Je přece jasné, že např. meteorologické podmínky mohou ovlivňovat přívod světla na zemský povrch, obdobně to platí pokud jde o teplo.

Ještě složitější je situace pokud jde o tzv. jemné synchronizátory. Nejen že mohou tyto vlivy, např. kosmické záření, magnetické či elektrostatické síly ovlivňovat synchronizátory slabé, ale jejich prostřednictvím tedy i silné synchronizátory. Je rovněž více než pravděpodobné, že právě tyto vlivy působí na buněčné úrovni, např. na iontovou rovnováhu buněčných membrán či anorganických a organických koloidů, což by možnosti jejich působení na organismus značně zvyšovalo.

V žádném případě tedy nelze vliv slabých a jemných synchronizátorů na organismus podcenit. Jejich označení neznámá, že by jejich *vliv* byl slabý, spíše naznačuje, že jejich *působení* (o jejichž mechanismech nevíme prakticky nic) se může projevovat jako slabé resp. jemné.

Pokud jsou synchronizátory (dominantní, slabé i jemné) přítomny, uplatňují se tak, že biologické rytmy skutečně ovlivňují, to znamená, že je synchronizují.

U některých biorytmů je působení externích rytmických změn evidentní a projevuje se i v průběhu ontogeneze. V řadě případů však může jít o geneticky zafixovaný vliv působící na řadu předchozích generací, takže aktuální změny tohoto vlivu se neprojeví vůbec či málo. O těchto otázkách, které pomáhají řešit často velmi obtížnou otázku, o jaký druh biorytmu jde, budeme ještě hovořit (viz str.).

Rytmicita externí se uplatňuje, ať již v ontogenezi či ve fylogenezi, při vytváření a zafixování rytmů o různé frekvenci, zejména však pokud jde o trvání cca 24 hodin. Znamená to, že nejvíce se uplatňuje - prostřednictvím zejména změny osvětlení a teploty a následně pak z toho vyplývající aktivitou, příjmem potravy atd. - externí rytmus, odpovídající jedné otáčce Země kolem své osy. V řadě biorytmů však můžeme pozorovat i vliv jiných externích rytmů, ať již jde o rytmicitu oběhu Měsíce kolem Země, Slunce kolem hvězd či jiných externích rytmů o ještě delších frekvencích (např. sluneční skvrny!).

3.1. Externí vlivy a jejich působení na organismus

Pro existenci podstatné části biorytmů jsou velice podstatné rytmy vnějších podmínek - **externí rytmy**. U části biorytmů se uplatňují přímo (exogenní biorytmy), u části pak nepřímo, tj. svým působením při vzniku resp. upevnování biorytmů během fylogeneze (endogenní biorytmy s vnějším korelátem). Avšak i v případě, že jde o endogenní biorytmy, můžeme hovořit o tom, že aktuální působení určitého vnějšího vlivu a jeho rytmicitu může do určité míry modifikovat průběh endogenního rytmu, jeho fáze a frekvenci. Proto je třeba si především říci něco o tom, které vnější vlivy mohou svou rytmicitou průběh biorytmů vůbec ovlivňovat, jakými cestami signály o určité intenzitě a rytmicitě do organismu přicházejí a k jakým změnám a jakými mechanismy se modifikace biorytmů externími vlivy děje.

Ve skutečnosti neznáme počet všech externích vlivů, které na organismus působí (SOLLBERGER 1965). Jasná je situace pokud jde o takové vlivy, u kterých známe smyslové orgány. Ty jsou určité externí vlivy, jejich změny (resp. rytmicitu) schopny postihnout a také o tom dát zprávu do řídicího centra organismu. Takto jsme schopni zaznamenávat světlo (a to jeho intenzitu, barvu či polarizaci), zvuk a vibrace, podněty čichové i chuťové, teplotu, tlak a gravitaci. Ve všech těchto případech známe jasně

definované smyslové orgány - různě složité podle stupně vyspělosti daného organismu. Obecně je možné říci, že smyslové orgány jsou citlivější na změnu (tj. rytmicitu) než na stabilní působení. Jednotlivé podněty mají různou váhu u různých živočišných druhů - např. chemorecepce je primárně důležitá třeba pro hmyz, zatím co pro člověka pouze za specifických podmínek. U některých vlivů a jejich rytmicitu víme, že na organismus působí, neznáme však cestu, kterou se tak děje. Dřívější fyziologové většinou vyžadovali existenci anatomicky determinovaného smyslového orgánu, aby vůbec připustili možnost působení nějakého vlivu na organismus. Poté, co však byla nashromážděna řada dokladů o tom, jak se v organismu projevuje vliv změn i takových faktorů, u kterých neznáme ani smyslové orgány ani další spoje, kterými jsou informace do organismu předávány, došlo ke změně uvedeného stanoviska.

Týká se to např. vlivu meteorologických, u kterých jsou známy cyklické změny a z toho vyplývající odezva v organismu. Známa je např. schopnost lidí s artritickými změnami na kostech vnímat nejen změny již probíhající, ale reagovat "v předstihu". V tomto směru existují až nevysvětlitelné případy schopnosti vnímat změny velmi malé intenzity. Stejně to platí pro schopnost zaznamenávat změny spojené s blízcím se zemětřesením. Při zemětřesení ve Skoplji v býv. Jugoslávii byla některá zvířata neobvykle vzrušena více než 18 hodin před zemětřesením (šlo např. o šelmy či slony). Tato zkušenost je známa již delší dobu, proto jsou v oblastech s větším výskytem zemětřesení záměrně chovány některé druhy zvířat, které tuto schopnost mají, tak ku příkladu v Japonsku jsou to určité druhy akvariálních rybiček. Jako kuriozitu je možné zaznamenat případ jedné částečně ochrnuté paní z Prahy, která zaznamenávala jakékoliv seismické poruchy, ať probíhaly třeba na opačném konci země, třeba v Tichém oceánu. Schopnost reagovat na vnější podněty je však bazální vlastností živé hmoty a každá část organismu, resp. každá buňka v něm, jsou schopny reagovat na vnější podněty. Proto, i když doposud neznáme mechanismy, kterými se to děje, musíme brát v úvahu, že na organismy působí řada vlivů včetně těch, o kterých jsme to dlouho nepředpokládali. Je značně složitým problémem, jak určit, zda na organismus periodicity různých změn externích vlivů působí či nikoliv.

V zásadě existují dva způsoby, jak k tomuto problému přistoupit:

- při **experimentálním** přístupu izolujeme organismus od jednoho či několika vnějších faktorů (nebo naopak u vybraného vlivu sledujeme účinek uměle vytvořené frekvence) a sledujeme odezvu biorytmu
- při **statistickém** přístupu zaznamenáme rytmicity tolika faktorů, co jsme schopni zaznamenat a to za přirozených i experimentálních podmínek - metodami frekvenční analýzy, za pomoci počítačové techniky, pak hledáme vztahy mezi těmito veličinami

Při statistickém přístupu nestačí pochopitelně nalézt dvě paralelně probíhající periodicity, abychom mohli hovořit o příčinné souvislosti - může jít pouze o náhodnou koincidence. Je také třeba počítat s určitým časovým opožděním mezi frekvencí synchronizátoru a biologické funkce. Z hlediska působení synchronizátoru jsou důležité následující parametry :

- síla podnětu
- síla biorytmu
- typ a stupeň vzájemného působení synchronizátoru a biorytmu
- charakteristika synchronizátoru i biorytmu

Z hlediska síly působení a biologického účinku na organismy se synchronizátory dělí na **silné** (zejména světlo a teplo, které jsou prakticky vždy přítomny), **slabé** (zejm. meteorologické vlivy) a na **jemné** (kosmické vlivy). Jednotlivé synchronizátory mohou působit i na sebe navzájem, může docházet k jejich kompetici. Týká se to např. dvou silných synchronizátorů - světla a tepla (více o tom viz od str. xx), stejně tak na sebe mohou pochopitelně působit i synchronizátory slabé a jemné. O tomto vzájemném působení toho prozatím mnoho nevíme, i když je např. známo, že výrazně na sebe působí meteorologické podmínky a kosmické záření a že toto působení se může projevit i pokud jde o světlo a teplotu.

I když v experimentálních podmínkách nejčastěji používáme přístupu, kdy měníme rytmicitu jednoho vlivu a ostatní se snažíme udržet na konstantní úrovni, organismus je navyklý na rytmické změny všemožných vlivů, které navíc působí v různých kombinacích. V zásadě je možné rozlišovat tři hlavní způsoby informací o změně externích vlivů (synchronizátorů):

- časovací impuls (převážně v experimentálních pracích)

- trvání určité úrovně intenzity signálu
- velikost změny v síle signálu

Působení synchronizátoru na biorytmy v organismu se může projevit **fázovou synchronizací**, kdy dochází k posunu fází, nebo **synchronizací frekvence**, při čemž jak fázovost tak frekvence jsou udržovány rytmickými stimuly. V dalších částech skript si postupně probereme, jak se jednotlivé synchronizátory ve svém vlivu na organismus mohou projevovat.

3.2. Dělení synchronizátorů podle síly působení

Určování důležitosti jednotlivých externích rytmů, tj. jednotlivých synchronizátorů, pro vývoj biorytmů je jednou z důležitých cest chronobiologického výzkumu. Některé příčinné spojitosti se nabízely již od samých začátků výzkumu v této oblasti - zejména u cca 24-ti hodinových biorytmů resp. biorytmů sezónních. Tak byl od začátku sledován vliv dvou v přírodě se rytmicky měnících externích vlivů - světla a teploty. Postupně se ukázalo, že velký význam mohou mít i další faktory - třeba rytmus přijímání potravy a pod., ještě později pak začali badatelé prokazovat význam i zdánlivě slabě působících vnějších vlivů a jejich rytmicit - meteorologické vlivy či kosmické vlivy. Takto se postupně vyvinula jedna možnost dělení synchronizátorů a to podle toho, jak silně **se v organismu mohou uplatňovat**.

3.2.1. Silné synchronizátory

Původní představa byla, že pouze silné synchronizátory mohou se v ovlivnění biorytmů uplatnit a pouze z tohoto hlediska byly vzájemné závislosti externích a biologických rytmů studovány. Od 18-tého století počínaje se přitom za hlavní faktor považovalo světlo - proto je o jeho působení na organismus tolik prací.

3.2.1.1. Fotoperiodismus. Světlo působí na celou řadu orgánů resp. funkcí v organismu, jak také dokumentuje obr. č. 3.

Fotoperiodismus přitom zahrnuje jiný aspekt vnímání světla než vidění - SOLLBERGER (1965) to charakterizuje tak, že zatím co vidění zajišťuje orientaci v prostoru, **fotoperiodismus** se týká orientace v čase. Této orientace v čase se docíluje synchronizací tělesných funkcí se změnami v intenzitě osvětlení v průběhu dne a změnami v délce světelné periody v průběhu různých sezon ročního období. Ze širokého spektra různých druhů záření, které na organismy mohou působit, existují speciální receptory pouze pro malý výsek tohoto spektra - pro viditelné světlo. Jejich základem jsou fotochemické reakce probíhající v určitých pigmentech.

Dá se říci, že život většiny zkoumaných organismů - ať již rostlin či živočichů - je do značné míry závislý na přívodu světla. Je proto pochopitelné, že se v regulaci různých jejich životních pochodů uplatňují (a to v průběhu fylogeneze i ontogeneze!) změny osvětlení probíhající v závislosti na období dne či ročního období. Významně se může osvětlení rovněž měnit i v závislosti na zeměpisné šířce. Světlo se jako synchronizující faktor uplatňuje jak pokud jde o jeho intenzitu, tak délku trvání a konečně i pokud jde o jeho spektrální složení (EBBESSEN 1960). Hovoříme-li o zdroji světla, je za přirozených podmínek jeho hlavním "dodavatelem" Slunce, i když se uplatňovat může i světlo Měsíce - jeho intenzita i spektrální složení se od světla slunečního však značně liší. Ve vodním prostředí musí být brány v úvahu i jeho absorpce (znečištění vody!) i úhel, pod kterým světlo do vody dopadá.

Jakýkoliv účinek světla je podmíněn jeho vlnovou délkou. Jak jsme se již zmiňovali, mnohé z účinků světla je založeno na fotosenzitivních pigmentech. Každý pigment má specifické absorpční spektrum pro mnohobarevné světlo a má určité oblasti, kde dochází k maximální absorpci světla. **Absorbční spektrum** může být zaznamenáno dvojím způsobem. První možností je zaznamenat biologickou odpověď na určitou intenzitu světla u všech jeho barevných odstínů. Druhou možností je zaznamenání světelné intenzity potřebné k vyvolání stejné kvantitativní odpovědi při různých vlnových délkách. Pro rostliny jsou ze světla o různé vlnové délce neaktivnější modré, červené a infračervené. U řady druhů hmyzu je nejúčinnější ultrafialové světlo, u většiny bezobratlých i obratlovců je to celá škála viditelného světla.

U bezobratlých může podle WILDEHO (1959,1961) světlo působit buď prostřednictvím příslušných smyslových orgánů, tj. očí, nebo pomocí pigmentů uložených v kůži.

Prostředníkem mezi fotoreceptory a různými tělesnými funkcemi se zdá být vylučování tzv. **neurosekrelinů** do tělních tekutin. Většina hmyzích druhů má dva typy očí a to tzv. **ommatidia**, která umožňují vnímání prostoru a barev a tzv. **ocelli**, která jsou citlivá na světlo a o jejich funkci v organismu se toho příliš nevědělo. Podle pokusů HARKEROVÉ (1960) se zdálo být funkce ocelli objasněna. Když totiž tato badatelka studovala neurosekreci u jednoho hmyzího druhu, u švábů, našla, že jeden druh neurosekrece je produkován v subesofageálním gangliu řízeném právě typem ocelli, zatím co druhá část neurosekrece je řízena ommatidii. I když jako nadřazené centrum regulace se projevovalo to, které bylo řízeno ommatidii, ukázalo se, že odstranění subesofageálního ganglia či přetěti příslušné dráhy od něj zamezí cirkadiálním rytmům. HARKEROVÁ dokonce provedla další pokus, při kterém transplantovala toto ganglion do dekapitovaného švába a cirkadiální rytmy se objevily. Tento náález tedy vypadá zcela jednoznačně, že se skutečně podařilo lokalizovat centrum pro řízení rytmicity, v daném případě 24-ti hodinové aktivity u výrazně večerně aktivního druhu. Bohužel, jiné práce (EIDMAN 1956, FINGERMAN 1958, BRADY 1969) tuto hypotézu nepotvrdily.

Neurosekretoricky je rovněž kontrolován u bezobratlých (ostatně stejně tak u obratlovců) i chromatoforový systém a to prostřednictvím světelných stimulů přicházejících via oční orgány. Jedním z nejlépe prostudovaných rytmů vůbec je právě rytmus barvoměny u mořských krabů (např. BROWN 1954, 1958). Ke studiu prvotně světlem indukované rytmicity u bezobratlých přispěl i autor, který jinak většinu svých pokusů týkajících se biorytmů dělal na rostlinách, tj. BÜNNING. Jako model pro své pokusy stálosti biorytmů použil banánových mušek - *Drosophil*. Banánová muška má přesný čas líhnutí dospělých stadií z kukly a to časné ráno. Celý vývoj k další generaci trvá velice krátce a tak bylo možné sledovat u řady generací stabilitu doby líhnutí při změně podmínek osvětlení (stabilní osvětlení a teplota). Fotoperiodicky daná doba líhnutí zůstávala stabilní i po 15 generacích mušek (BÜNNING 1935).

Bylo by možné uvádět ještě řadu příkladů u bezobratlých o fotoperiodických rytmech, ať již v souvislosti s jejich denními rytmy aktivity, obdobně sezónními (sexuální aktivita, začátky diapauzy a pod.). O těchto vlivech na biorytmy se ještě budeme zmiňovat v dalších částech skript, při probírání cirkadiálních a cirkaanuálních rytmů. Zcela speciální problém pak představuje to, jakým způsobem rytmické změny osvětlení umožňují i bezobratlým živočichům orientaci v prostoru (viz kap.5 od str.).

U obratlovců hraje jednoznačně hlavní roli ve fotoperiodických dějích zrakový analyzátor, i když zůstává zachována i určitá kožní fotosenzitivita. Od zrakového orgánu vede několik cest, které zprostředkovávají styk s koordinačním centrem a jeho prostřednictvím tedy i s cílovými orgány : - k occipitálnímu zrakovému centru v kůře mozkové, které kontroluje různé regulace v těle a je spojeno s jinými oblastmi kůry mozkové - přímější spojení s motorickými nukleji v mozkovém kmenu - pravděpodobně také přímé spojení s hypotalamem a jeho neurosekretorickou kontrolou. Prozatím nebylo retino-hypotalamické spojení anatomicky izolováno, existují však pro něj důkazy nepřímé, včetně skutečnosti, že v průběhu embryonálního vývoje vzniká sítnice právě z této části mozku. Jako zajímavost uvádí SOLLBERGER (1965), že i u vyšších živočichů může světlo také pronikat přímo lebkou - u očnice a ve spánkové oblasti, kde jsou kosti relativně slabé. Týká se to např. kachen, králíků, krys, ovcí ale také psů. Zdá se, že i hypotalamus sám je citlivý na světlo, není však jasné, jaký význam toto přímé pronikání světla do mozku má.

Retinohypotalamický systém se zdá být informačním kanálem pro fotoperiodické jevy u obratlovců, které např. kontrolují úroveň metabolismu, aktivitu, sexuální cykly atd. Hypotalamus hraje u obratlovců stěžejní roli při regulaci rytmických dějů, což se týká i barvoměny (viz sexuální cykly!). Prostřednictvím neuroendokrinního systému je světlem kontrolována řada funkcí, týká se to např. vodní bilance, tvorby krvinek, hladiny krevního cukru, funkce štítné žlázy, nadledvinek a pod. U osob, které osleply v průběhu života či u experimentálně dočasně oslepených živočichů může být rytmicita uvedených funkcí porušena. Neznamena to však, že by se rytmicita - např. cirkadiální - nemohla vyvinout u osob či živočichů, kteří se jako slepí již narodili. V tomto případě nahradí synchronizující vliv světla ostatní synchronizátory. Na serii následujících obrázků č.4 - 8 vidíme, jak se liší 24-ti hod. rytmicita výdeje řady látek močí (např.

chloridy, močová kyselina, kreatinin, minerály či ketosteroidy) u dvou skupin osob. Jedna skupina jsou normálně vidící osoby, druhá osoby slepé. Na obrázku č. 4 vidíme, že mezi rytmicitou uvedených parametrů mezi osobami normálně vidícími a slepými existuje rozdíl - při nejmenším pokud jde o absolutní hodnoty a velikost výkyvu v průběhu rytmické periody. Na dalších obrázcích č. 5 a č. 6 vidíme, jak se provedenou oční operací, kterou se obnovilo normální vidění, změnila rytmicita vylučování různých látek močí. Na dalších obrázcích, č. 7 - 8, vidíme tutéž změnu pokud jde o rytmicitu počtu krvinek (eosinofilů resp. trombocytů) a hladinu kortizolu v krvi. Z této série obrázků je tedy možné uzavřít, že nedostatečný přívod světla v důsledku slepoty může vést ke změně charakteru rytmicity hladiny látek v moči i krvi. Tyto změny můžeme z větší části reparovat operací oka a tím zlepšením vidění.

Světlo se uplatňuje také při tvorbě a udržování sexuálních cyklů. Jako příklady si můžeme uvést změnami osvětlení dané sexuální cykly u řady bezobratlých i obratlovců (ryby, ptáci a savci). Pro zajímavost lze také uvést, že dřívější dospívání a urychlený růst nynější mladé generace je dáván právě do souvislosti s obecně vyšší úrovní osvětlení v současné době. Přirozená frekvence aktivity se zdá narůstat exponenciálně s intenzitou světla - platí to pochopitelně u denních živočichů. Naproti tomu za konstantních světelných podmínek se často žádný cirkadiánní rytmus neobjevuje, může se však objevit již po jednotlivém světelném podnětu a to i extrémně krátkém. Obdobně se stimulem může stát i tma, její působení však musí být delší, tj. musí trvat několik hodin. V kontinuálním světle či tmě rytmicita mizí, a to pomaleji v případě světla. V přírodě se podmínky trvalého osvětlení nevyskytují, výjimku dělá arktická oblast v období dlouhého dne. Podmínky tmy nacházíme zase obdobně v podmínkách dlouhé noci v arktické oblasti, úplnou tmu pak v prostředí jeskyň ale také u slepých jedinců. Je třeba si ještě probrat zkratky užívané při studiích o vlivu světla :

- L světlo (light)
- D tma (darkness)
- LD střídání období světla a tmy
- LL kontinuální světlo
- DD kontinuální tma

Pak na př. LD = 6:12 znamená, že jde o celkem 18-ti hodinovou časovou periodu, ve které je 6 hodin světla vždy střídáno 12-ti hodinami tmy. Pomocí změny LD schemat byla udělána celá řada sledování u nejrůznějších rostlin i živočichů - literatura o této problematice je opravdu enormní (viz např. SOLLBERGER 1965). Můžeme si uvést dva příklady, jak byla ovlivněna změnou světelného režimu rytmicita pohybové aktivity zvířat. V prvním případě (viz obr. č. 9) jde o přehození vrcholu 24-ti hodinové aktivity z noci na den u laboratorního potkana změnou osvětlení. Jde tedy o přehození fáze rytmu, jeho celková délka zůstává zachována. Jak ukazuje uvedený obrázek, je k úplné reverzi rytmu podle nového rozdělení období světla a tmy zapotřebí cca 8-10 dnů. Druhý příklad se týká působení jiné celkové doby LD schematu (LD 11:10), tentokrát u křečka. Pokusné zvíře si zachovává svůj cca 24-ti hodinový rytmus i za podmínek nového světelného režimu a tak synchronizace vnějším osvětlením do značné míry mizí (viz obr. č. 10).

3.2.1.2. Termoperiodismus Vnější teplota, obdobně jako světlo, vykazuje zřetelné 24-ti hodinové a sezónní změny, výrazně se liší její intenzita v závislosti od denní doby, sezóny či zeměpisného pásma. Proto se teplo, podobně jako světlo, uplatňuje jako významný a silný synchronizátor biorytmů v organismu. Nejprve k obecnému působení externí teploty na organismus. Základní funkce v organismu (metabolismus, růst, aktivita a p.) exponenciálně narůstají se zvyšující se teplotou prostředí. Při určitém teplotním rozmezí se dosahuje optimálních hodnot uvedených funkcí. Existuje pochopitelně rozdíl mezi poikilotermy a homioitermy - u **poikilotermů** je jejich tělesná teplota přímo závislá na teplotě okolí. Proto také v zimním období poklesá úroveň jejich metabolismu resp. přecházejí toto období hibernací. U **homioitermů** došlo k vývinu mechanismů udržujících tělesnou teplotu v poměrně širokém rozmezí na stálé úrovni. Děje se tak jednak tím, že je metabolickými pochody vytvářeno více tepla, jednak omezením jeho ztrát z organismu. Malí živočichové, u kterých je povrch těla relativně velký, jsou na extrémní teploty citlivější a to proto, že v chladu u nich dochází k větším ztrátám tepla a v horku naopak ke zvýšeným ztrátám vody. Přechávání nepříznivého období zimním spánkem se u nich uplatňuje daleko

méně než u poikilothermů. Kromě toho u ptáků (s většími možnostmi transportu na velké vzdálenosti) se objevuje ještě další možnost obrany proti velkému chladu - přemístění do zimovišť s příznivějšími klimatickými podmínkami.

Na organismus působí vnější teplota v přirozených podmínkách většinou jako vliv kolísající, **rytmicky se měnící**. Proto se také může uplatnit jako synchronizátor biorytmů organismu a to natolik silný, že může nahradit vliv světla. Na modelu rajčete prokázal WENT (1960), že stejného optimálního růstu se dosáhne při určité 24-ti hodinové rytmicitě světla i při stálém osvětlení, ale s rytmicky kolísající teplotou o stejném fázování jako dříve užitě rytmické kolísání světla. Je pravděpodobné, že u vyšších rostlin je teplota stejně důležitá jako světlo a pro poikilothermy je dokonce teplota důležitější. Pro studium trvalosti biorytmů je však často sledován vliv **konstantní teploty**, při čemž se výše této neměnné teploty pokus od pokusu liší.

O jednom druhu biorytmů - o endogenních s vnějším korelátem - se říká, že jsou teplotně nezávislé. Platí to však pouze v určitém rozmezí, cca 10-30°C. Při teplotách nižších než 10°C se např. u poikilothermů rytmicita porušuje, mizí původní rytmus a objevuje se rytmus jiný, s rychlejší frekvencí a menší amplitudou. Obdobně to platí i u homoiothermů, stabilita biorytmů však bývá větší. Teplota prostředí a světlo se mohou vzájemně při synchronizaci rytmů nahrazovat - již jsme se zmínili o pokusech WENTA (1960) u vyšších rostlin. Kompetiční vliv světla a teploty prokázal u *Drosophily* i PITTENDRIGH a BRUCE (1957) - viz obr.č. 11. Obdobně výsledky byly zaznamenány rovněž u švába (*Periplaneta americana*), HARKER (1956) - viz obr.č. 12.

V některých případech se za určitých podmínek více uplatňuje vliv světla a za jiných zase teploty. Vysvětlením je **teorie dvou oscilátorů**, z nichž jeden je citlivý na světlo a druhý na teplotu - tyto oscilátory se střídavě uplatňují (SOLLBERGER 1965) - viz obr.č. 13. Obdobně byl pro rostliny popsán mechanismus se dvěma oscilátory (SOLLBERGER 1965) - viz obr. č. 14.

3.2.1.3. Ostatní silné synchronizátory

V roce 1927 popsal FORSGREN jako první 24-ti hodinovou rytmicitu **metabolických ukazatelů** - hladiny glykogénu a žluči v játrech. Zpočátku byl tento jev přičítán přímému vlivu potravy, později se však ukázalo, že uvedené rytmy přetrvávají (i když poněkud slaběji vyjádřené) i při hladovění či při různých druzích přerušovaného krmení. I katedra srovnávací fyziologie PřF MU v Brně k této otázce pracemi ŠIMKA a jeho spolupracovníků () přispěla podstatným způsobem.

Příjem **potravy** se může stát za určitých podmínek silným synchronizátorem, zejména za jinak stabilních ostatních podmínek prostředí (u člověka např. v nemocnici, ve vězení a pod.). Samotný příjem potravy, resp. jeho časové rozdělení, může záviset i na dalších faktorech, např. řada živočichů nepřijímá potravu ve tmě, šelmy závisí na způsobu života zvířat, kterými se živí a pod. Nevíme přesně, zda dochází ke kontinuální synchronizaci na rytmus příjmu potravy, nebo zda je tato synchronizace za normálních podmínek potlačována působením silnějšího synchronizátoru - světla. V každém případě však víme, že za podmínek snížení přívodu potravy se stává vliv potravy důležitější i než vliv světla (HALBERG 1953).

Je známo, že cirkadiánní rytmy se vyznačují určitou nezávislostí nejen na podnětech teplotních, ale i **chemických**. Proto také při respirační alkalóze či naopak acidóze se v zásadě nemění dané rytmy, pouze se poněkud mění jejich frekvence a tím i časové intervaly. Některé povrchově aktivní látky přicházející orálně či parenterálně (alkohol či narkotika) mohou naopak časové intervaly rytmů prodlužovat. Když jejich působení pomine, může se organismus opět zcela vrátit ke svému původnímu rytmu (BÜNNING 1958).

Do této problematiky patří i to, jak působí na rytmicitu v organismu různá **farmaka**. Rovněž léky se mohou uplatňovat jako synchronizátory rytmických dějů. V posledních letech se o této problematice nashromáždilo dost údajů, podobně jako o závislosti citlivosti na určitý lék na denní době. Tyto objevy mohou dost zásadně měnit dosavadní převládající systém dávkování léku a to tak, aby nebyla dávana v různých časových obdobích v průběhu dne stejná dávka. Výsledkem pak může být i snížení celkové denní dávky léku (a tím omezení jeho případných vedlejších účinků!). Řešením se jeví postupné uvolňování léku podle jeho aktuální hladiny i klinických účinků, jak se začíná používat u některých léků. Organismus - ať již rostliny, zvířete či člověka - je vázán mnoha pouty ke svému prostředí.

Do tohoto pojmu patří i vliv tzv. **společenství** (u zvířat např. stádo, roj včel, mraveniště a pod.). Tzv. **stádní instinkt** je pro zvířata velmi důležitý, například u dobytka či kuřat se vše děje společně - jídlo, pohyb a spánek. Rovněž člověka společenství lidí výrazně ovlivňuje, zejména právě civilizovaného Homo sapiens sapiens. Společenský charakter má naše práce, stejně tak přijímání jídla, či aktivní resp. pasivní provozování sportu či kulturní činnosti (kino, televize!). Všechny tyto činnosti představují synchronizátory našich rytmů. Poruchy těchto synchronizátorů naopak paradoxně představují víkendy či dovolené, kdy se rytmicita našeho života mění. Někteří autoři právě v těchto podmínkách zaznamenávají poruchy až onemocnění "z klidu".

Jak je důležitá forma režimu v nemocnicích pro synchronizaci řady funkcí se ukazuje při porovnání režimů o různé "přísnosti". Totéž konečně platí i o experimentálních zvířatech - výsledky různých testů bývají o víkendech odlišné od tzv. pracovních dnů. Důležitou složkou obklopujícího prostředí je **hluk**, který na nás spolu s vibracemi působí celý den - proto dělá značné problémy odizolovat pokusnou osobu (či živočicha) od jeho působení. Vzhledem k obtížnosti toho, aby byl hluk zcela vyloučen, volí se častěji cesta, že zvuk má konstattní intenzitu. SOLLBERGER (1965) ironicky připomíná, že stabilní zvukovou kulisu stačí zajistit již chod zařízení pro udržování stálé teploty prostředí.

Účinek zvuku se projevuje i naprosto nečekanými a překvapivými nálezy, např. při ovlivnění velikosti produkce mléka u krav (některé krávy mají přitom raději vážnou hudbu, jiné pop music). Naskytá se možnost, že výrazně rytmická hudba může přímo ovlivňovat rytmicitu různých funkcí (biologická rezonance?). SOLLBERGER (1965) popisuje kuriózní případ mladé ženy, jejíž rytmus tepu byl plně synchronizován s tanečním rytmem hudby.

3.2.2. Slabé synchronizátory

U tohoto typu synchronizátorů jde především o vlivy **meteorologické**, které na organismus evidentně působí, i když víme velice málo o způsobu, jakým se to děje. Již poměrně dlouho se ví, že změny ve složení atmosféry mohou na organismus působit dost výrazně, je to i základem tzv. **klimatoterapie** (či balneoterapie). Tyto otázky jsou podrobněji studovány celým novým vědním oborem - **bioklimatologií** - a zmiňujeme se o nich v našich skriptech o adaptacích (PETRÁSEK a sp. 1992).

Počasi a zeměpisná poloha kontrolují celou řadu ukazatelů v ovzduší, jako jsou vítr, tlak, teplota, vlhkost či ionizace vzduchu, dále obsah ozónu, elektrostatické síly a shlukování aerosolů (ať již přírodních či produktů průmyslu). V našem cyklu jde o fyziologické působení těchto faktorů, nikoliv tedy např. o vysloveně škodlivý vliv zvýšeného záření v důsledku porušení ozónové vrstvy či o řádové zvýšení koncentrace různých škodlivin v ovzduší (např. kysličníky síry či dusíku). To je samostatná problematika, která vyžaduje daleko důkladnější rozbor a vymyká se náplni i rozsahu našich skript.

I když jsou změny meteorologických faktorů relativně nepravidelné, přesto - díky kosmickým vlivům - podléhají i rytmickým změnám, např. v průběhu 24-ti hodinového cyklu. Meteorologické faktory mohou naopak porušovat vliv jiných synchronizátorů, což může být také jedním z důvodů rozdílů exogenních biorytmů ze dne na den u téhož jedince. Proto také to, co bereme jako denní změny teploty prostředí zahrnuje i probíhající změny meteorologických faktorů. Podobně může být atmosférickými podmínkami modifikován i vliv světla (mraky, disperze vrstev vzduchu různé hustoty a pod.). Barva světla přicházejícího ze Slunce se mění souběžně s ionizací vzduchu, intenzita kosmického záření přicházejícího z vesmíru je závislá na atmosférickém tlaku. Erupce na Slunci, resp. sluneční skvrny, výrazně ovlivňují naopak úroveň ionizace a elektromagnetických jevů v atmosféře.

Problematická a nepřiliš jasná je otázka, pomocí jakých receptorů jsme schopni zachycovat meteorologické vlivy. Je zde řada možností, jakým způsobem se to děje. Tak např. vlhkost vzduchu či jeho tlak mohou působit na plicní funkce - velikost a elektrický náboj částic aerosolu určují jejich penetraci a resorbci v plicích. Některé teorie dokonce předpokládají přímé působení elektrostatického náboje a magnetického pole atmosféry na buněčné membrány či buněčné koloidy (zejména v nervových buňkách!). Je zde ovšem ještě další možnost a to ta, že meteorologické faktory se uplatňují *pouze* prostřednictvím jiných faktorů, např. teploty prostředí, a to tak, že ovlivňují jeho kvantitu i kvalitu. V každém případě však je třeba i se slabými synchronizátory počítat jako s jednou důležitých faktorů regulace biorytmů.

3.2.3. Jemné synchronizátory

Do tohoto typu synchronizátorů se řadí kosmické vlivy, o jejichž působení na organismus se ví ještě méně, než se ví o tzv. slabých synchronizátorech. Obdobně, jako v případě studia meteorologických vlivů vznikl nový vědní obor, bioklimatologie, vznikl i v případě kosmických vlivů - jde o **kosmobiologii**. Kosmické (astronomické) jevy mají, na rozdíl od jevů meteorologických, více pravidelný a cyklický charakter. Proto se také mohou velice dobře uplatňovat jako synchronizátory biorytmů. Různé pohyby Země, Měsíce, Slunce a hvězd představují složitý systém - projevem jeho působení jsou mj. gravitace, magnetické pole a jeho změny či záření různého typu.

Cyklické změny těchto vlivů (např. magnetického či elektrického pole, slunečního záření a pod.) se odrážejí, jak jsme se o tom již zmínili, i ve změnách atmosféry. Takto se tedy i jemné synchronizátory účastní synchronizace biorytmů, v daném případě však *nepřímo*. Otázkou je, do jaké míry mohou kosmické vlivy působit na organismus také *přímo*. Jestliže je obtížné definovat smyslové orgány u slabých synchronizátorů, ještě horší je to v případě kosmických vlivů. Proto také fyziologové dlouho váhali s uznáním možnosti jejich působení na organismus a jeho biorytmy. Postupně se však prokazuje jejich působení, jako v případě magnetického pole, sluneční aktivity a gravitace.

Pokud jde o **magnetické pole**, zdá se, že ovlivňuje růstové pochody v organismu (např. pokud jde o krevní ale i nádorové buňky!). K tomu, aby se tohoto vlivu dosáhlo, je nutné působení magnetického pole určitou dobu. Silné magnetické pole může působit desorientaci v prostoru, obdobně to platí o psychických potížích. Není však pravda, že se může uplatnit pouze silné magnetické pole, uplatňuje se i pole v normálním rozmezí. Zdůraznit je přitom třeba, že zemské magnetické pole podléhá cyklickým změnám, ať již daným pohybem Země samotné či v důsledku působení cyklických změn lunárních či slunečních.

Intenzivní **sluneční aktivita** (resp. sluneční skvrny) působí na gravitační a magnetické pole Země. Zároveň dochází k emisi záření, ať již tepelného, ultrafialového či korpuskulárního. Toto záření, které také ovlivňuje ionizaci atmosféry a počasí jako takové, podléhá 24-ti hodinovému rytmu. Pokud jde o sluneční skvrny, byla zjištěna hlavní perioda v trvání 11 let, při čemž její vlivy na organismus se projevují v řadě funkcí, u člověka dokonce i v počtu sebevražd a také v obecné mortalitě.

Pro vnímání **gravitace** známe (jako v jediném případě u slabých a jemných synchronizátorů!) dokonce i definovaný smyslový orgán. Jde o statolity ve vnitřním uchu a o proprioreceptory ve svalech a šlachách, vnímání gravitace je však schopna i sama buněčná hmota. Vliv gravitace je u člověka i živočichů zkoumán na centrifugách, je si však nutné uvědomit, že síla gravitačního pole závisí i na zeměpisné poloze a uplatňuje se nejen vliv rotace samotné Země ale dokonce i vliv vzdálených nebeských těles.

Že jemné synchronizátory existují, to prokázala řada sledování. Hůře je tomu s odpovědí na otázku, které přesně vlivy to jsou a jak se uplatňují. Na příklad v některých pokusech, třeba BROWNA (1965), byly zaznamenány rytmické změny, které nebylo možné vztáhnout k žádnému jinému synchronizátoru, bylo je však možné vztáhnout k lunárnímu či slunečnímu dni, k roční periodicitě či k cyklům kosmického záření. Nevíme doposud, jak jemné synchronizátory na organismus působí - snad na buněčné úrovni, na iontovou rovnováhu na buněčné membráně. U vyšších živočichů se navíc nesporně uplatňuje vliv na nervovou soustavu (což mimochodem může probíhat opět na buněčné úrovni).

3.3. Synchronizátory podle délky frekvence

Externí periodicitu je ovládána astronomickými jevy (SOLLBERGER 1965), tj. pohyby Země, Měsíce, Slunce a hvězd. Těchto externích rytmů je obrovské množství, s velmi odlišnou dobou trvání jednoho cyklu - od zlomků tisícin sekund až po desítky tisíc let. Z těchto externích rytmů se extrémně krátké a extrémně dlouhé rytmy stěží mohou v synchronizaci biorytmů uplatnit - zbývají tedy externí rytmy ležící délkou cyklu mezi oběma extrémy. Jde zejména o rytmy cca 24-ti hodinové, dále cykly vyplývající z působení Měsíce na Zemi (cca 28 dnů resp. podíly tohoto cyklu ale také např. cykly dané přílivy a odlivy) a konečně cykly cca roční, které můžeme vztáhnout k jednomu oběhu Slunce kolem hvězd (a z toho odvozené změny sezónní). V tomto pořadí si také hlavní externí rytmy podle délky trvání jednoho cyklu probereme.

3.3.1. Cirkadiánní rytmicita

Nejnápadnější jsou rytmy cca 24-ti hodinové, vyplývající z pohybu Země (cca 24 hodin trvá jedna otočka Země kolem vlastní osy!). K tomu, abychom určili délku trvání jedné otočky Země, potřebujeme **referenční bod** - po jedné otočce bychom se měli dostat do stejné polohy k tomuto bodu. Jak nám ukazuje obr. č. 15, do stejné polohy se dostat nemůžeme, protože Země se zároveň pohybuje kolem Slunce.

Pokud použijeme jako referenční bod Slunce, je délka tohoto "**slunečního dne**" téměř přesně 24 hodin (menší - cca 16-20-ti vteřinové rozdíly - jsou dány změnou polohy zemské osy a eliptickým tvarem křivky oběhu Země). Pokud použijeme jako referenční bod Měsíc, je délka tohoto "**lunárního dne**" o něco delší a to 24.8 hodiny. Hvězdy jsou vzhledem ke své větší vzdálenosti od Země teoreticky lepší referenční bod a "**hvězdný den**" (pomocí hvězd jako referenčního bodu) je naopak kratší a to 23.9 hodin. Náš (tj. lidský!) přesně 24-ti hodinový rytmus je tedy arteficiální a pro rostliny i živočichy žijící v závislosti na přírodě nemá takovou reálnou hodnotu, jako pro nás. Pro ně se může stát důležitější časová perioda, vyplývající z gravitačního působení Měsíce na Zemi (zejména pro živočichy žijící v pobřežních zónách v důsledku pravidelně dvakrát denně se střídajícího přílivu a odlivu).

Cirkadiánní, tj. cca 24-ti hodinový rytmus se odráží v působení jak silných, tak slabých či jemných synchronizátorů. Tak např. v důsledku 24-ti hodinového střídání délky a intenzity světla (ve skutečnosti může jít i o jeho kvalitu, tj. změnu světelného spektra!) dochází v organismu k ovlivnění řady biorytmů. V řadě případů jde o ovlivnění dlouhodobé, předávané pomocí genů dalším generacím, v řadě případů však o působení přímé, na jedince v průběhu jeho ontogeneze. Totéž pochopitelně platí i pokud jde o teplotu, příjem potravy, ale i další synchronizátory z kategorie slabých či jemných. 24-ti hodinová rytmicita různých funkcí v organismu byla pozorována již velmi brzy a také byly detekovány ty faktory, jejichž cca 24-ti hodinová rytmicita se při tom uplatňuje. Zájem o tento druh - cirkadiánních - rytmů stále trvá a proto také jsou do podrobnosti probádány i tomu odpovídající rytmy externí.

3.3.2. Lunární rytmicita

Obdobně, jako jsme si uváděli pro určování délky dne při užití různých referenčních bodů, platí to i pro určování délky pohybu Měsíce kolem Země. Pokud je jako referenční bod užito Slunce, je délka tohoto tzv. **synodického měsíce** 29.53 dne (zároveň jde o délku období, které uplyne mezi dvěma stejnými lunárními fázemi). Tzv. **hvězdný měsíc** trvá naproti tomu 27.32 dne. Náš kalendářní měsíc trvá 28 - 31 dnů (průměrně tedy 30.44 dne) a je tedy také arteficiální, jako jsme si uváděli v případě délky dne.

Gravitační vliv Měsíce na Zemi způsobuje přílivové resp. odlivové vlny (na stranách přivrácených či odvrácených od Měsíce!). Slunce má podobný gravitační vliv, ve srovnání s Měsícem je však tento vliv přibližně poloviční. Při novém Měsíci a při měsíčním úplňku (tehdy jsou Slunce a Měsíc v zákrytu) se gravitační působení obou nebeských těles sčítá a přílivy resp. odlivy jsou největší (ve čtvrtinových fázích naopak nejmenší). Je zajímavé, že obdobné vlny, jako pozorujeme jako přílivy a odlivy na mořské hladině, je možné zaznamenat i v zemské kůře a také v atmosféře (SOLLBERGER 1965). Příliv a odliv je životně důležitý pro živočichy žijící v pobřežní zóně (CARSON 1951), neboť jsou nuceni v *předstihu* se přizpůsobovat pohybu hranice vody resp. orientovat se i za změněných podmínek této hranice. Schopnost orientovat se správně přetrvává i po přenesení do jiného místa pobřežní zóny. Zvýšený výskyt určitých mořských živočichů v souvislosti s jejich rozmnožováním je také spjat s fázemi měsíce, jako to můžeme pozorovat např. u sledů, úhořů či mořských červů palolo. Obecně je možné říci, že se lunární externí cykly uplatňují v synchronizaci exogenních biorytmů zejména u bezobratlých, zatím co u vyšších organismů se diskutuje o tom, zda u nich ještě přetrvávají rezidua přímého vlivu lunárních rytmů či nikoliv. Týká se to např. lidských sexuálních cyklů. Je skutečností, že průměrná cca 28-ti denní perioda lidského menstruačního cyklu je v rozmezí trvání synodického měsíce (27.3 - 29.5 dne). Přibližně stejné trvání samičího sexuálního cyklu je i u makaka - 27 dnů - u řady živočichů je však jeho trvání odlišné, jak ukazuje obr. č. 16.

Tento rozpor se snaží někteří autoři (FLIES 1924, RIEBOLD 1942, TIETZE 1949) řešit tím, že v případech, jako jsou uvedeny na obrázku č. 16, jde vlastně o období odpovídající 1/4 lunárního cyklu, tj. 7 dnům, resp. násobkům tohoto čísla. Nelze pochopitelně vyloučit, že v průběhu vývoje různých druhů byly

skutečně sexuální cykly, včetně lidského, synchronizovány lunárními periodami, může však jít i o náhodnou koincidence. U různých druhů živočichů, ať již bezobratlých, ryb, plazů či ptáků jsou sexuální cykly spíše vázány na sezónní změny osvětlení, teploty či dalších faktorů. Zatím co u bezobratlých se přitom při regulaci řady parametrů uplatňuje primitivní neuroendokrinní systém, u obratlovců je jasná návaznost těchto cyklů na retinohypotalamický systém. Pokud jde o člověka, existuje velmi rozsáhlá literatura o této problematice, která ovšem neřeší otázku případné návaznosti na lunární cykly ale v převážné míře ukazuje neuroendokrinní feedback sexuálních cyklů. Na tuto regulaci pak navazuje celá řada dalších parametrů jako např. hladina pohlavních hormonů, tělesná teplota, krevní cukr, retence vody, pH krve, srdeční tep, sedimentace, psychická aktivita atd. (viz SMITH a Mc DOWELL 1929, KLEITMAN 1944, DÖRING 1948 atd.). Obr. č. 17 ukazuje řadu změn, které byly v průběhu menstruačního cyklu zaznamenány.

Některé z těchto změn, např. změny tělesné teploty, mohou být také použity k účelům regulace početi (pokles tělesné teploty v průběhu menstruace a naopak jasný její vzrůst v období po ovulaci!). Teplotní křivka se také výrazně mění při gynekologických poruchách, může se měnit jak tvar křivky, tak amplituda cyklu či cyklicita dokonce zcela chybí.

3.3.3. Sezónní a roční rytmicita

Sezónní rytmy se uplatňují v působení na organismus prostřednictvím většiny faktorů prostředí, hlavní úlohu však přitom hrají změny světla a teploty. U řady živočichů se tyto sezónní změny externí projevují v synchronizaci exogenních biorytmů, u endogenních biorytmů jsou vnějším korelátém. Různé sezóny roku jsou součástí delší periody, odpovídající jednomu oběhu Slunce vzhledem ke hvězdám - tento tzv. **hvězdný rok** je 365 a 1/4 dne. Sezóny jsou však závislé nejen na fázi tohoto slunečního pohybu, ale velice i na postavení Slunce na naší obloze (mj. zeměpisná poloha!), jsou ovlivněny i změnami gravitace v důsledku působení vnějších sil a také periodickými změnami v otáčení Země kolem své osy. Sezónou a změnami, zejména v okolní teplotě, které v jejich průběhu probíhají, jsou pochopitelně daleko více ovlivněny poikilotermní živočichové. Jejich celková aktivita a řada životních funkcí je ovlivněna změnami okolní teploty. Se zimním poklesem vnějších teplot upadají do zimního spánku resp. přečkají ho v takových stádiích metamorfózy, která nejsou chladem tak ovlivněna. Homoiotermní obratlovcí jsou na sezónních výkyvech podmínek prostředí méně závislí, i oni však mohou mít např. potíže se sháněním potravy. Jako jednu z cest úniku z nepříznivých zimních podmínek proto volí část z nich migraci (zejména ptáci), jiní upadají do zimního spánku. Člověk jako druh se stává méně závislý na nepříznivém působení sezónních podmínek, tato nezávislost však není úplná (např. sezónní výskyt některých nemocí včetně meteorotropních!).

Při kontrole sezónních cyklů je důležitá zejména úloha světla - jak rostliny tak živočichové přitom určují sezónu roku podle trvání světelného období v průběhu dne a tendence jeho vývoje (rozlišení jarního a podzimního období se stejnou délkou světelného období!). Tímto způsobem jsou synchronizovány jak sezónní rytmy u rostlin, tak fáze metamorfózy či "svatební lety" u bezobratlých (SOLLBERGER 1965). U mnoha obratlovců (na rozdíl od bezobratlých, kde jsou zejména kontrolovány lunárními vlivy) jsou sezónou synchronizovány jejich pohlavní cykly a to prostřednictvím retinohypotalamické osy. Tato sezónní synchronizace sexuálních cyklů se týká především ryb, obojživelníků a ptáků. U sezónních vlivů se zdá být přímé působení externích faktorů a tím exogenní charakter biorytmů v řadě případů nesporný, i když nelze vyloučit v některých případech i vrozený endogenní sezónní či cirkaanální (přibližně rok trvající) rytmus (MARSHALL 1960). Možnost přesného postižení skutečně endogenního rytmu sezónního je však pochopitelně daleko složitější než u rytmů cca 24-ti hodinových.

3.3.4. Externí rytmicity o trvání delším než jeden rok

Řada vnějších vlivů projevuje rytmicitu o trvání delším, než je jeden rok. Patří mezi ně např. jeden z projevů sluneční aktivity, tzv. **sluneční skvrny**. Ve skutečnosti jde o chladnější vrstvy sluneční atmosféry, které jsou, podobně jako "sluneční plameny" doprovázeny radiací a silným magnetickým polem. Tím dochází k poruše zemské atmosféry a geomagnetického pole. Sluneční skvrny se objevují rytmicky, při čemž některé cykly jsou delší než jeden rok (od 3.4 roku do 200 let). Hlavní rytmus má

periodu cca 11 let (s rozmezím od 7 do 16 let). Obdobnou 11-ti letou periodu zaznamenali někteří autoři i v dalších externích změnách (např. zemětřesení či počasí) ale i v různých biorytmech (WEBSTER 1951, HUNTINGTON 1959, DEWEY 1960). Jsou zaznamenány dokonce i rytmické změny o této časové periodě týkající se obchodu či důležitých událostí v lidských dějinách, jako např. velké války, náboženská hnutí a pod.

Sluneční skvrny jsou pouze jeden z řady případů externích rytmicit delších než jeden rok. Dále sem patří na příklad rytmicita změny sklonu zemské osy či měsíční osy a pod. Déletrvajícím rytmickým změnám podléhá ale i počasí. Bylo by jistě možné jmenovat ještě řadu dalších příkladů těchto "nebeských" rytmicit, problémem však je vyloučit to, že nejde v případě biorytmů o stejné délce cyklu o náhodnou koincidenci ale o skutečně příčinný vztah. Čím je sledovaná externí perioda delší, tím s větším rizikem našeho omylu musíme počítat.