

FYZIOLOGIE A PATOFYZIOLOGIE RYTMICKÝCH ZMĚN V ORGANISMU

Prof.RNDr R.Petrásek,CSc

Přírodovědecká fakulta Masarykovy university
B r n o 2006

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 miliónů 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. gastro-intestinální 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 pro- bíhající v organismu rostlin či živočichů, je potřebné struč- ně uvést některé základní údaje, zabývající se historií výz- kumu biorytmů, jejich dělením, návazností na rytmy vnějších podmínek a pod. Toto krátké vysvětlení je potřebné pro pocho- pení 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 (fy- zikální 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 jakákýkoliv 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 ° 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 dru- hy rytmů a vztahy, které mezi nimi existují.

2.2. Historie výzkumu rytmických dějů

Není nadsázkou říci, že již naši pravěcí předkové získá- vali 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 obdobích. 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 do- posud - buď se organismus určitým životně důležitým rytmici- tám 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 ARIS- TOTELES (384 - 322 př.n.l.) popisuje periodické změny veli- kosti pohlavních orgánů u mořských ježovek za úplňku. Celá řada různých pozorovatelů v různých místech na Zemi si všimla závislosti různých životních projevů u nejrůznějších organis- mů na fázi zemské rotace, na oběhu Měsíce kolem Země či Země kolem Slunce. Slavný systematik LINNÉ začátkem 18. století vy- užil svých znalostí o tom, že různé květiny rozevírají a nao- pak 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 růz- ných 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 tohoto století přinesla další mezník ve výzkumu rytmických dějů, když FORSGREN (1927) popsal 24-ti hodinovou rytmicitu prvních metabolických parametrů - jater- ního glykogénu a vylučování žluče. Od té doby se paleta nej- různějších hormonů, minerálů, vitaminů a dalších biologicky důležitých látek velice rozrostla, zejména v závislosti na přibližně 24-ti hodinovém rytmu. O této rytmicitě také pojed- nává většina všech doposud uveřejněných studií, i když jiným periodicitám byla pochopitelně telně též věnována pozornost. Ještě před II. světovou válkou vznikla mezinárodní spo- lečnost pro výzkum biologických rytmů jako pro nový vědní obor. Největší rozmach pak uvedená problematika zaznamenala v padesátých a šedesátých letech a zájem o výzkum biologic- kých rytmů stále pokračuje, naopak lze zaznamenat další jeho rozšíření, mj. v souvislosti se řešením otázek kosmických le- tů. 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 ILLNE- ROVÁ, která se soustřeďuje zejména na

problematiku cirkadián- ního rytmu krysí pineální N-acetyltransferázy a melatoninu a jejich ovlivnění experimentálními podmínkami (např. ILLNE- ROVÁ 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 externími*. 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 projevit jako slabé resp. jemné. 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 jediné otáčce Země kolem své osy. V řadě biorytmů však můžeme pozorovat i vliv jiných externích rytmicit, ať již jde o rytmicitu oběhu Měsíce kolem Země, naší planety kolem Slunce 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 fylogenese (endogenní biorytmy s vnějším korelátorem). 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 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 posstihnout 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 složitě 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, zatímco

pro člověka pouze za specifických podmínek. U některých vlivů a jejich rytmicit 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 nasromážděna 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. Známá 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 slovy). 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 akvarijních rybiček. Jako kuriozitu je možné zaznamenat případ jedné částečně ochrnuté paní z Prahy, která zaznamenávala jakékoliv seismické pohyby, 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 koincidenci. 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.16), 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 teplo. I když v experimentálních podmínkách nejčastěji používáme přístup, 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 pracech) - trvání určité úrovně intenzity signálu - velikost změny v síle signálu. Působení synchronizátoru na biorytmu v organismu se může projevit **fázovou synchronizací**, kdy dochází k posunu fází, nebo **synchronizací frekvence**, přičemž 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 dodílkuje 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 "dávatelem" 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 absorbce (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. **Absorpční 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 nejaktivnější 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 vyvolávání tzv. **neurosekretinů** 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 přetětí 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 nálezný 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 rytmičnosti 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 - *Drosophila*. 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 cirkaanálních 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 hypothalamem 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 hypothalamus 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. Hypothalamus 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 rytmicitu uvedených funkcí porušena. Neznamena to však, že by se rytmicitu - 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. rytmicitu výdeje řady látek moči (např. chlořidy, 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 rytmicitu vylučování různých látek moči. 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 změny 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 cirkadiální 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 homiootermy - 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 **homiootermů** 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. Přecházení 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 užití 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 poikilotermů rytmicita porušuje, mizí původní rytmus a objevuje se rytmus jiný, s rychlejší frekvencí a menší amplitudou. Obdobně to platí i u homiootermů, 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. Obdobné 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 os- cílatory (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 pot- ravy, 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 pod- míněk 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 zví- řat, 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 synchro- nizátoru - 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 ne- závislostí nejen na podnětech teplotních, ale i **chemických**. Proto také při respirační alkalóze či naopak acidóze se v zá- sadě nemění dané rytmy, pouze se poněkud mění jejich frekven- ce 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 své- mu 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 ob- jevy 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 dá- vky léku (a tím omezení jeho při- padných vedlejších účinků!). Řešením se jeví postupné uvolňování léku podle jeho ak- tuální 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, na- příklad u dobytka či kuřat se vše děje společně - jídlo, pohyb a spánek. Rovněž člověka společenství lidí výrazně ovlivňuje, zej- ména právě civilizovaného Homo sapiens sapiens. Společenský charakter má naše práce, stejně tak přijímání jídla, či ak- tivní resp. pa- sivní provozování sportu či kulturní činnosti (kino, televize!). Všechny tyto činnosti představují synchro- nizátory našich rytmů. Poruchy těchto synchronizátorů naopak paradoxně předsta- vují víkendy či dovolené, kdy se rytmicita našeho života mě- ní. Někteří autoři právě v těchto podmínkách zaznamenávají poruchy až onemocnění "z klidu". Jak je důležitá forma režimu v nemocnicích pro synchroniza- ci řady funkcí se ukazuje při porovnání režimů o různé "přís- nosti". 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 pů- sobení. Vzhledem k obtížnosti toho, aby byl hluk zcela vylou- čen, 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 přek- vapivými nálezy, např. při ovlivnění velikosti produkce mléka u krav (některé krávy mají přitom raději vážnou hudbu, jiné pop music). Naskýtá se možnost, že výrazně rytmická hudba mů- že přímo ovlivňovat rytmicitu různých funkcí (biologická re- zonance?). 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 **me- teorologické**, 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 organis- mus 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). Počasí a zeměpisná poloha kontrolují celou řadu ukazate- lů v ovzduší, jako jsou vítr, tlak, teplota, vlhkost či ioni- zace vzduchu, dále obsah ozónu, elektrostatické síly a shl- kování aerosolů (ať již přírodních či produktů průmyslu). V našem cyklu jde o fyziologické působení těchto faktorů, ni- koliv tedy např. o vysloveně škodlivý vliv zvýšeného záření v důsledku porušení ozónové vrstvy či o řádové zvýšení kon- centrace různých škodlivin v ovzduší (např. kysličníky síry či dusíku). To je samostatná problematika, která vyžaduje da- leko 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 sou- běžně s ionizací vzduchu, intenzita kosmického záření přichá- zejícího 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 nepřilíš jasná je otázka, pomocí jakých receptorů jsme schopni zachycovat meteorologické vlivy. Je zde řada možností, jakým způsobem se to děje. Tak např. vlh- kost 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 před- pokládají přímé působení elektrostatického náboje a magnetic- kého pole atmosféry na buněčné membrány či buněčné koloidy (zejména v nervových buňkách!). Je zde ovšem ještě další mož- nost 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, biokli- matologie, vznikl i v případě kosmických vlivů - jde o **kosmo- biologii**. Kosmické (astronomické) jevy mají, na rozdíl od je- vů meteorologických, více pravidelný a cyklický charakter. Proto se také mohou velice dobře uplatňovat jako synchronizá- tory 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 synch- ronizátory 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 vli- vů. 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 růsto- vé pochody v organismu (např. pokud jde o krevní ale i nádo- rové buňky!). K tomu, aby se tohoto vlivu dosáhlo, je nutné působení magnetického pole určitou dobu. Silné magnetické po- le 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 sluneč- ních. Intenzivní **sluneční aktivity** (resp. sluneční skvrny) pů- sobí na gravitační a magnetické pole Země. Zároveň dochází k emisi záření, ať již tepelného, ultrafialového či korpusku- lárního. 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 propio- receptory 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 (SO-LLBERGER 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 bio-rytmů 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 Země kolem Slunce (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 palo- lo. 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 ryt- mů 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 ukazují 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 koincidenci. 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 sexuálního cyklu. 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 McDOWELL 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 rytmicitata

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. přechájejí ho

v takových stadiích metamorfózy, která nejsou chladem tak ovlivněna. Homoiotermní obratlovci jsou na sezónních výkyvech pod- mínek prostředí méně závislí, i oni však mohou mít např. po- tíže 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 neporný, i když nelze vyloučit v některých případech i vrozený endogenní sezónní či cirkaanuální (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. Dlouhodobým 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 koincidence ale o skutečně příčinný vztah. Čím je sledovaná externí perioda delší, tím s větším rizikem našeho omylu musíme počítat.

4. BIORYTMY A PRAVDĚPODOBNÉ MECHANISMY JEJICH VZNIKU

Od pradávna bylo známo, že u živých organismů - rostlin i živočichů - je možné pozorovat celou řadu periodicky se opakujících fluktuací různých funkcí. Týká se to např. otevírání květu či pohybu listů u rostlin, cyklů spánku a bdění, aktivity a pod. Bylo možné sledovat periodicitu jak cca 24-ti hodinovou, tak cykly měsíční či sezónní. Když pomíneme pozorování pravěkého člověka či lidí v začátcích civilizačního procesu, kde obdobná pozorování vyplývala z potřeb lovce či pěstitele, skutečná *pozorování*, doložená a písemně publikovaná, můžeme nalézt již před naším letopočtem. Jde např. o již zmíněnou práci ARISTOTELA, rovněž CICERO popsal změny výskytu ústřic a jiných měkkýšů podle fází Měsíce. Antický polyhistor PLINIUS tato pozorování potvrdil.

Takových pozorování učinili lidé na nejrůznějších místech světa jistě veliké množství, dalším generacím se předávaly znalosti o výskytu ryb či jedlých mořských červů ve zcela určitou, periodicky se opakující dobu. Začátkem skutečně vědeckého přístupu se dle WARDA (1980) stala chvíle, kdy pozorovatelé určitých periodických jevů si závěry svých pozorování začali ověřovat ve vlastních *pokusech*. Pravděpodobně při nejmenším za jeden z prvních kroků v tomto důležitém směru je možné považovat pozorování De MAIRANA z roku 1729 (autor byl mimochodem astronom!), že se západem slunce dochází ke svěšování listů heliotropních - tj. ke slunci směřujících - rostlin a k jejich napřimování s jeho

východem. Platí to i za podmínek jejich umístění v naprosté tmě, tedy bez přímého působení slunečního světla. Toto pozorování ověřil za několik desítek let, ale stále ještě v osmáctém století, DUHAMEL (1758), který navíc prokázal, že k tomuto jevu dochází nezávisle nejen na světle ale i na teplotě. V průběhu devatenáctého století a ještě více od začátku století dvacátého se udělala řada dalších pozorování, která naše znalosti o periodicky se opakujících dějích v organismu výrazně rozšířila. Na základě těchto jednotlivých sledování a pokusů začal postupně vznikat ucelený systém nového vědního oboru - **chronobiologie**. Proto také v r. 1937 založilo celkem 7 vědeckých pracovníků (z toho 5 lékařů a 2 přírodovědci) Mezinárodní společnost biologických rytmů. Na základě četných pozorování mohly také začít vycházet takové komplexní monografie o biorytmu, jako jsou např. práce BÜNNINGA (1964), ASCHOFFA (1965) či SOLBERGERA (1965). Kromě toho, že bylo postupně objeveno mnoho biorytmů o nej-
různější frekvenci cyklu, ukázalo se rovněž, že se tyto rytmy odlišují pokud jde o reakci na aktuální vnější podmínky. Zatím co některé z nich při změně podmínek - zejména světla a teploty - svoji rytmicitu prakticky neměnily, jiné reagovaly daleko pohotověji podle toho, jak se tyto podmínky a jejich rytmicita měnily. Ty rytmy, které se téměř neměnily, byly řazeny do tzv. **endogenních** rytmů, tj. takových biorytmů, jejichž regulace je zejména přímo na úrovni organismu. Jde o řadu biorytmů, které se projevují na úrovni různých orgánů a tkání, mj. nervové, srdeční a pod. I u těchto endogenních biorytmů existuje však dvojí druh rytmicity a to **endogenní bez vnějšího korelátu** a **endogenní s vnějším korelátem**. Tyto dvě skupiny endogenních biorytmů se odlišují tím, že u některých z nich nacházíme rytmicity, které vůbec neodpovídají známým rytmicitám externích vlivů - proto **bez vnějšího korelátu**. Tento druh endogenních rytmů je, na rozdíl od druhé skupiny endogenních rytmů, citlivý na teplotu. **Endogenní rytmy s vnějším korelátem** jsou svým vznikem vázány na vnější podmínky a jejich rytmicitu, v podstatě však přetrvávají i při přerušení jejich vlivu. Typické pro tento druh endogenních rytmů je i jejich necitlivost jak na teplotu tak na chemické podněty. Nejvíce jsou z těchto biorytmů zkoumány ty, jejichž frekvence je přibližně 24-ti hodinová, přičemž jako vnější koreláty se v dlouhodobém vývoji (nikoliv však v krátkodobém působení!) uplatňují zejména světlo a teplota. Do této skupiny patří však i rytmicity s delší frekvencí než je 24-ti hodinová, např. odvozené ve svém vývoji od cyklu oběhu Měsíce kolem Země či naopak naší planety kolem Slunce. Zbývá ještě třetí skupina biorytmů a to ty, které se pod akutním působením externí rytmicity relativně rychle mění - tuto skupinu biorytmů nazýváme **exogenními biorytmy**. O tom, zda daná rytmicita skutečně patří do rytmů endogenních (příp. s vnějším korelátem) či do rytmů exogenních, se dlouho vedly spory, vyplývající často i z různých pokusných podmínek. V další části skriptu tuto problematiku ještě rozvedeme a pokusíme se ukázat, do jaké míry je vůbec možné na tuto otázku endo - či exogenosti rytmů jednoznačně odpovědět. S rozvojem metodických možností i počítačích strojů dalších generací se to daří lépe, než v začátcích chronobiologického výzkumu, kdy byly prakticky všechny biorytmy považovány za exogenní. Interpretací obtíže však v některých případech přetrvávají i v současné době a často přicházejí dvě skupiny autorů se stejně přesvědčivými argumenty pro to, že u určitých biorytmů skutečně jde o rytmy endogenní, zatím co druhá skupina stejně přesvědčivě prokazuje jejich exogenní charakter. K problematice studia biorytmů je možné přistupovat několika způsoby : - sledovat a porovnávat v několika pokusech za sebou časovou rytmicitu vybraného děje či parametru u užitého modelu rostliny či živočicha a to za přirozených nijak nezměněných podmínek (takto lze porovnávat např. rytmicitu v průběhu 24-ti hodinového cyklu, části měsíčního cyklu, sezóny a pod.) - pokud chceme získat informaci o tom, zda daný biorytmus je vůbec (resp. do jaké míry) závislý na nějaké vnější rytmicitě světla, teploty či dalších faktorů, měníme uměle rytmicitu těchto externích vlivů resp. udržujeme tyto vlivy na stabilní úrovni - postupnou změnou různých externích rytmů a sledováním odezvy pokud jde o biorytmy se snažíme o postžení toho vnějšího vlivu, který při případné synchronizaci biorytmů hraje největší roli - sledováním změny aktivity systémů či hladiny různých látek (případně jejich stimulací nebo inhibicí) v průběhu biorytmu se snažit o postžení mechanismu, kterým je daný biorytmus regulován resp. udržován - na počítači si předpokládané mechanismy stejně jako očekávané příčinné souvislosti ověřovat, např. korelací se známými externími biorytmy V průběhu historie chronobiologického výzkumu můžeme pozorovat postupný přesun od prostého pozorování biorytmů za přirozených podmínek až po snahu po hledání mechanismů a příčinných souvislostí pomocí změny experimentálních podmínek a počítačového

zpracování dat. Modernizace metodických přístupů i statistického zpracování vede na jedné straně k rozšíření možností, na straně druhé pochopitelně pro jevy původně jednoznačné dává více možností vysvětlení a často více otázek otevírá, než dává odpovědí. Snad je zbytečné zdůrazňovat, že si stále musíme být vědomi limitů přesnosti určitých stanovení, daných užitými metodikami. Stejně tak si musíme stále uvědomovat, že kontrolovat můžeme pouze ty podmínky, které známe a že i malá změna vnějších podmínek, trvající i pouze velmi krátkou dobu, může biorytmus zásadním způsobem ovlivnit. Velký problém představuje udržení tzv. konstantní úrovně takových faktorů vnějšího prostředí, jako je např. kosmické záření. Abychom jeho vliv vyloučili, je zapotřebí velmi silná vrstva olova či několik desítek metrů skály - proto byly také některé pokusy s biorytmy dělány v hlubokých jeskyních. Přes všechny uvedené obtíže je výzkumu biorytmů věnována stále značná pozornost, protože jejich dopad do různých oblastí života je opravdu výrazný. Proto také se do chronobiologického výzkumu zapojují odborníci z různých oblastí - biologie, zemědělství, lékařských věd, psychologie atd. Je pochopitelné, že v různých vědních oborech mohou být metodické přístupy poněkud odlišné, základní metodou však zůstává porovnávání časových změn v různě se měnících (i uměle!) podmínkách okolního prostředí.

4.1. Základní kritéria pro dělení biorytmů na endogenní a exogenní

Endogennost či exogennost určitého biorytmu lze zkoumat pouze podle toho, zda si svoji rytmicitu zachovává i za změnách podmínek prostředí, tj. zda je možné pozorovat přímé působení nějakého externího synchronizujícího vlivu. Řešení daného problému je tedy teoreticky jasné, prakticky však může být spojeno s řadou velikých potíží. Předně proto, že musíme jasně určit, jaká je frekvence (resp. časová perioda) námi sledovaného biorytmu. Tuto rytmicitu si musíme opakovaně ověřit a to za přirozených podmínek, ve kterých daný organismus žije. Tak stanovíme, že biorytmus skutečně existuje a že je za normálních (fyziologických) podmínek stabilní. Stále však nevíme, zda daný biorytmus vyplývá z toho, že tuto rytmicitu stále udržuje nějaký regulační mechanismus přímo v organismu, či zda je regulován zvenčí, nějakým externím vlivem. Musíme tedy začít sledovat, zda se daný rytmus změní, pokud bud' udržujeme hlavní externí podmínky na konstantní úrovni, tedy bez přirozených rytmických změn, které se mohou stát potenciálními synchronizátory biorytmů, nebo když u silného synchronizátoru změním uměle jeho přirozenou rytmicitu. A již máme možnost obtíží - v praxi se nám může podařit maximálně udržet v určitých stabilních mezích hlavní synchronizátor a velice těžko toho docílíme u řady dalších, slabých či jemných. U těchto posledně jmenovaných dvou skupin synchronizátorů navíc neznáme ani všechny možné synchronizátory resp. nevíme, zda se i tyto jiné externí rytmické vlivy mohou uplatnit v regulaci biorytmů. Pokud měníme frekvenci dosavadních potenciálních synchronizátorů, musíme prozkoumat (pokud to již není pochopitelně známo!), zda jsme skutečně vybrali správný externí vliv, zda u daného organismu a pro daný rytmus není důležitější nějaký docela jiný podnět. Musíme konečně sledovat případnou změnu biorytmu po delší dobu, abychom vyloučili možnost, že jsme zachytili pouze okamžitou reakci - nelze totiž vyloučit, že po delší době se rytmus vrátí v podstatě na svou výchozí úroveň. Nejlépe si obtížnost tohoto úkolu ozřejmíme na nějakém příkladu. Úmyslně půjde o příklad, ve kterém jde o biorytmus u rostlin, protože ukáže jednak jednotlivé fáze zkoumání tohoto problému, jednak i dlouhou dobu, po kterou byla otázka endogennosti rytmu sledována. Jde o problém pohybu stonků a listů rostlin - otevírání resp. napřimování v průběhu dne a uzavírání s nástupem šera. Na tomto jevu, který byl bezpochyby pozorován několik tisíciletí předtím, si ale De MAIRAN (1729) povšimnul zvláštnosti, že tyto pohyby (později nazývané spánkové pohyby u rostlin) pokračují i ve tmě. Toto pozorování potvrdil DUHAMEL (1758) s tím, že tyto pohyby pokračují i po mnoha dnech umístění v temnu, změny teploty v noci se na tomto jevu se dle něj neuplatnily. O řadu let později De CANDOLLE (1832) pozoroval, že i při stálém osvětlení je možné pozorovat spánkové pohyby rostlin, při stálém osvětlení se však doba jejich "probouzení" zkrátila z 24 na cca 22 hodin. De CANDOLLE také jako první ukázal, že je možné dosáhnout posunu fáze tím, že zamění čas osvětlení a tmy. Tuto problematiku také sledoval slavný DARWIN spolu se svým synem (1881) a prokázal i analyzoval spánkové pohyby u celé řady rostlinných druhů - této práci věnoval prakticky tři poslední roky svého života. S jednoduchými technickými pomůckami přitom dosáhl výsledků srovnatelných s dnešními badateli. Další rozpracování je spojeno se jménem KLEINHOONTEOVÁ, jejíž

analýza spánkových pohybů u rostlin je považována za jednu z prvních skutečných vědeckých analýz rytmu v živém organismu. Tato badatelka (viz BÜNNING 1960) na rozdíl od DARWINA se soustředila podrobně na jeden rostlinný druh, a to fazol, s cílem zjistit, zda spánkový rytmus u rostlin je dědičný či zda je dán pouze denními rytmy střídání světla a tmy. KLEINHOONTEOVÁ neprováděla již pouze vizuální pozorování, ale své studie dělala s pomocí velmi citlivého kymografu. Nejprve zjistila, že rostliny mají nejzřetelnější rytmus spánku, když jsou ve stáří kolem 17-18 dnů. Poté, když zjistila rytmus v normálních podmínkách, začala KLEINHOONTEOVÁ sledovat vliv podmínek abnormálních - např. jednodominutového osvětlení ve tmě. Již takto krátké osvětlení způsobilo fázový posun o 12 hodin. Pak začala zkoušet vliv abnormálního rytmu (LD 8:8) a to od stadia semínka. Za těchto podmínek se rostlinka přizpůsobila tomuto 16-ti hodinovému rytmu. Jakmile byla trvale osvětlena, vrátila se však k 24-ti hodinovému cyklu, který ve svém životě nikdy nepoznala. Totéž platilo pro jiné abnormální rytmy a třeba i následné trvalé tmě. Z těchto svých pokusů autorka uzavřela, že periodické pohyby listů jsou způsobeny autonomními faktory. Neodvážila se tedy jasně prohlásit, že tento rytmus je zděděný. Přibližně ve stejnou dobu jako KLEINHOONTEOVÁ začal svá dlouholetá studia zacílená na otázku, zda různé biorytmy jsou endogenní či nikoliv, i BÜNNING. Ironií osudu chtěl ve své první práci prokázat, že pohyby listů jsou řízeny nějakým vnějším faktorem, podle hypotézy vycházející z pokusů ARRHENIA koncem 19. století, změnou iontového obsahu ve vzduchu. Nic takového se mu však prokázat nepodařilo a naopak celý svůj další život věnovat tomu, aby prokázal, že biorytmy jsou endogenní. BÜNNING předně zjistil, že pokud jsou rostliny chovány celý život od vyklíčení v trvalém světle či tmě, nevykazují žádný pravidelný denní rytmus. Stačí však jedno osvětlení (skutečně jen záblesk) a po dlouhou dobu si rostlina udržovala najednou se projeví pravidelný denní rytmus. Autor toto zjištění doplnil dalším a to, že v průběhu dne se střídají dvě 12-ti hodinová období, ve kterém rostlina reaguje buď na podnět světla či naopak tmy. Ze svých pokusů vyvodil již v r. 1936 BÜNNING závěr, že při nejmenším většina biorytmů je skutečně endogenní, tj. že udržují samy sebe v pravidelně se opakujících časových obdobích (zejména 24-ti hodinových). Zcela fantastický se však zdál další závěr BÜNNINGA, že organismy používají endogenních rytmů k měření času. Proto byly po řadu let závěry jmenovaného autora odmítány, dokud se koncem 40-tých let neobjevily, a to nezávisle na sobě, jasné průkazy o tom, že jak ptáci tak včely dokážou používat svých vnitřních hodin k orientaci resp. navigaci viz kap. 5). Podobný postup, jako byl volen v případě tzv. spánkových pohybů rostlin, by bylo možné dokumentovat i na řadě jiných příkladů. Pro tuto část skript by to však bylo zbytečné, protože se budeme ještě jednotlivými biorytmy podrobněji zabývat. Již na základě tohoto jediného příkladu si však můžeme udělat předběžné závěry o tom, jakými znaky by se měly vyznačovat skutečně endogenní rytmy. Předně musí jejich rytmicita pokračovat i za stabilních podmínek. Jejich časová perioda se může měnit pouze v určitých hranicích (např. u cca 24-ti hodinových biorytmů pouze mezi 19-29 hodinami), přičemž většinou po delší době se rytmicita postupně vrací téměř k původní frekvenci. Konečně je zde otázka jejich dědičnosti - rytmicita se projeví většinou i u dalších generací, u kterých mohou být i zcela jiné podmínky.

4.2. Mechanismy regulace procesů v organismu - homeostáza

4.2.1. Základní pojmy regulace procesů

SOLLBERGER (1965) uvádí, že přežití v měnících se vnějších podmínkách závisí na kapacitě organismu regulovat své funkce. Na to, jakým mechanismus toho organismus dosahuje, se postupně vyvíjely názory - teorie adaptability, homeostázy, informační teorie až po pojetí kybernetické. Základem regulace v organismu je tzv. **feedback** (zpětná kontrola), tj. mechanismus umožňující podle kybernetické terminologie autoregulaci v organismu na základě přijetí a analýzy toku informací, přicházejících z prostředí. V různých pracích jsou uváděny jako typické příklady takto regulovaných pochodů např. pupilární reflex (sítnice reguluje přívod na ni dopadajícího světla měněním velikosti zorničky) nebo regulaci tvorby a výdeje hormonů endokrinních žláz podle měnících se podmínek. Fluktuace výkyvů různých biologických funkcí musí mít své meze, své horní a dolní limity. Znamená to, že se organismus musí snažit o to, aby byl vyloučen vliv extrémních podmínek, neslučitelných s další existencí organismu. Napomáhá tomu i skutečnost, že si organismus vytváří určitou hráz proti vnějšímu

prostředí, tj. **prostředí vnitřní** (v pojetí CLAUDA BERNARDA), jehož stabilita závisí na kapacitě regulačních mechanismů organismu. Kybernetické zákony o odpovědi určitého mechanismu na daný podnět neplatí pouze pro mechanické systémy, ale i pro biologické. SOLLBERGER (1965) to uvádí na obecných schématech, které vidíme na následujících obrázcích č. 18 a 19. Podle tohoto pojetí je organismus typická **černá skříňka**, u které nikdy do detailu nepoznáme její konstrukci, ať budeme sebevíc zkoumat její odpovědi na informace přicházející z vnějšího prostředí. Zevní prostředí přitom na organismus jasně působí a to prostřednictvím narušováním rovnováhy mezi organismem a prostředím - výsledkem je určitý efekt, tj. reakce organismu na uvedenou změnu. Záleží přitom na velikosti změny vnějšího prostředí a na kapacitě regulačních mechanismů prostředí, zda se podaří regulačními pochody zachovat *vnitřní* prostředí v takovém rozmezí, aby nebyla ohrožena či dokonce vyloučena další existence organismu (viz obr. č. 19!). Blíže o této problematice pojednává několikrát již zmíněná monografie SOLLBERGERA (1965). Příklady zpětné kontroly (feedback) působící v organismu můžeme najít na všech úrovních - od biochemických procesů v organismu probíhajících, přes endokrinní až po nervovou úroveň. Typický příklad, zároveň ukazující vzájemnou návaznost endokrinní a nervové soustavy, vidíme na obr. č. 20.

Na tomto obrázku vidíme, jak přední lalok hypofýzy ovlivňuje prostřednictvím svých hormonů periferní endokrinní žlázy a naopak tyto žlázy regulují vydávání hypofyzárních hormonů. Tak je dosaženo rovnováhy, která osciluje mezi určitými horními a dolními limity tvorby hormonů. Obrázek zároveň naznačuje souvislost regulace endokrinní a nervové - působení prostředí na hypofýzu se uskutečňuje prostřednictvím právě centrální nervové soustavy, tj. hypotalamu. Je možné si uvést i další příklady toho, jak působí feedback v organismu, např. pokud jde o udržování stálého krevního tlaku (viz obr. č. 21) nebo regulaci uvolňování energie v procesu zužitkování glycidů přicházejících s potravou i skladovaných jako energetická rezerva (obr. č. 22).

Jako příklad lze uvést i vzájemný vztah rostlin a živočichů, který umožňuje vůbec existenci života. (viz obr. 23).

Základem je neustálý přívod energie přicházející ze Slunce, kterou používají rostliny k tvorbě glycidů (škrob) z H_2O a CO_2 a také se zároveň vytváří O_2 . Tyto plynné látky jsou produkovány naopak živočichy, kteří zase využívají jako zdroj energie rostlinami vytvořený škrob (jde samozřejmě pouze o jednu stránku vzájemné závislosti rostlin a živočichů, obdobně bychom mohli uvést i tvorbu dusíkatých sloučenin z anorganického dusíku v půdě). Zpětná vazba se může uplatňovat i ve sféře psychické - jak je známo např. pokud jde o pedagogický proces či vzájemný vztah lékaře a pacienta. Dá se říci, že živé organismy - včetně člověka - jsou v mnohačetných vztazích s okolním prostředím i mezi sebou navzájem, stejně tak se uplatňují složité zpětné vazby uvnitř jednotlivých organismů. Zpětnou vazbu (feedback) můžeme tedy charakterizovat jako systém, ve kterém je výstup z "černé skříňky (black box) spojen se vstupem - viz obr. č. 24.

Instabilitu systému může způsobovat časové zpoždění v důsledku přenosu informace od vstupu přes převaděč k výstupu a zpětně ke vstupu. Zpětná kontrola může být **pozitivní** nebo **negativní** - podrobnosti viz ve speciálních učebnicích, např. SOLLBERGER (1965). Pro naše další úvahy prozatím postačí, že modifikovanou verzí negativní zpětné kontroly je tzv. **servomechanismus** (viz obr. č. 25). Uvedený pojem je velmi důležitý i pro pochopení různých biologických regulací. Tento mechanismus udržuje výchylku od potřebné úrovně v určitém rozmezí. Jakmile je toto rozmezí narušeno, snaží se servomechanismus znovu nastolit původní úroveň. Tato úroveň je nazývána **referenční hodnotou** a servomechanismus s ní neustále porovnává skutečný výstup s cílem minimalizovat případnou diferenci.

Velice dobře si takový mechanismus můžeme představit v případě soupravy, která má za úkol zachovat teplotu na $37^{\circ}C$ - jakmile teplota daného prostředí stoupne či klesne v rozmezí $1^{\circ}C$, ať již směrem nahoru či dolů, aktivuje to mechanismy zvyšující či snižující teplotu.

4.2.2. Servomechanismy a oscilátory

Pro pochopení problematiky řízení biologických pochodů je velmi důležité objasnit si blíže pojem **servomechanismus**. Pracuje na základě negativní zpětné vazby se snahou o stálé nastavení určité

referenční hodnoty. Na obr. č. 26 je podrobněji popsán jeho princip (SOLL- BERGER 1965). Z vnějšího prostředí přichází jako vstup určité informace, které jsou senzory (smyslovými orgány) transformovány a předány dále do centra a odtud - opět jako informace o potřebné změně - přichází do efektoru, při čemž je příp. informace opět transformována. Na obrázku č. 26 jsou označeny vstupní informace i , výstupní o , referenční hodnota pak i_0 a úkolem servomechanismu je udržet i rovno i_0 .

V biologii je jako příklady servomechanismů možno uvést třeba z oblasti nervového systému. Signály, které přicházejí z vnějšího prostředí jsou např. světelné hmatové či zvukové podněty, které jsou transformovány ve smyslových orgánech, efektorů jsou pak svaly či žlázy. Třeba náš pohyb je zprostředkován dvěma servomechanismy, které kontrolují polohu a směr, obdobně to platí pro pupilární reflex, kontrolu činnosti endokrinních žláz a pod. Je možné říci, že prostřednictvím zpětné vazby se řada biologických funkcí udržuje v rámci určitých limitů, tj. že **osciluje**. Servomechanismus, jehož úkolem je udržovat stabilní úroveň určité funkce, se tak může změnit v **oscilátor**. Rozsahu skript se vymyká podrobně definovat jednotlivé druhy oscilátorů - případný zájemce si může přečíst monografii, kde je tato problematika daleko širěji popsána (např. SOLLBERGER 1965). Nemůžeme se však zcela vyhnout alespoň krátké zmínce o tom, že v živých organismech různé orgány a orgány oscilují, že se v regulaci jejich různých funkcí uplatňují zpětné vazby, které oscilující funkce udržují v určitých mezích. Systém biologické zpětné vazby (feedback) je velice složitý, umožňuje však to, že se organismus dokáže vyrovnávat s rytmickými změnami vnějšího prostředí (s oscilátory v něm!). Tak je také umožněno přežití nejen individua ale i další evoluční vývoj daného druhu.

4.3. Endogenní biorytmy

Endogenní rytmy patří mezi biooscilátory a vyznačují se širokou škálou frekvencí. Část z nich má přítomnou frekvenci, které neodpovídají žádné známé frekvenci externích rytmů - tyto endogenní biorytmy nazýváme **bez vnějšího korelátu**, někdy také **spontánní** rytmy. Jiné biorytmy rovněž patří mezi endogenní, délka jejich perioda však připomíná některé známé periody externích rytmů, zejména přibližně 24 -ti hodinovou (cirkadiánní) ale i jiné, jako lunární či odvozené od jednoho oběhu Země kolem Slunce, tj. přibližně trvající 365 dnů (cirkaanuální). Tento druh biorytmů se nazývá **s vnějším korelátem** a od prvního typu se liší některými vlastnostmi, jako např. stabilitou proti změnám teploty, proti chemickým vlivům atd. V jednom jsou ale oba uvedené druhy endogenních biorytmů stejné, tj. v tom, že jejich povaha je skutečně endogenní, tj. vybavují se a probíhají bez nějakého vnějšího vlivu, případně navzdory těmto vlivům. Do tohoto typu biorytmů patří i proslavené De MAIRANOVY pohyby listů, ke kterým dochází i v naprosté tmě, jak se ukázalo později i při různé teplotě. Totéž platí i o dalších endogenních biorytmech, ať se jim přichystají různé měnící se či naopak stálé (např. stálé osvětlení či stálá tma) podmínky. Neznamena to pochopitelně, že tyto endogenní rytmy nelze vůbec nijak ovlivnit - extrémní teplotou na příklad lze docílit určitého zpomalení či naopak zrychlení těchto rytmů. V podstatě se však jejich rytmus v původní frekvenci udržuje velice dlouhou dobu, pouze se v určitých mezích pozmění, případně dojde k posunu fází rytmu a pod. V dalším textu si budeme uvádět některé příklady toho, jak se mohou vnější faktory při ovlivnění endogenních biorytmů uplatňovat.

4.3.1. Endogenní biorytmy bez vnějších korelátů

Všechny živé organismy, ať již jde o rostliny, nižší či vyšší živočichy i člověka, mají řadu spontánních biorytmů v trvání od milisekund až do roků. Ve srovnání s rytmy v neživé přírodě jde o poměrně úzký rozsah, vždyť tam známe periodicity od 10^{23} cyklů za sekundu u elektromagnetického záření až např. po planetární oběhy trvající stovky či tisíce let. V živém organismu jde, pokud jde o nejkratší rytmy, maximálně o 2000 cyklů za sekundu, jak to přichází v úvahu při **přenosu** nervového vzruchu. Pokud jde o **tvorbu** nervového vzruchu v jedné nervové buňce, jde o frekvenci maximálně 1000 cyklů za sekundu, u systému tvořeného několika neurony a případně s účastí svalové tkáně klesá frekvence až na 20 cyklů za sekundu. Se zapojením dalších složek mimo nervovou soustavu se frekvence dále zmenšuje - u příčně pruhovaných svalů na 0.3 - 8 cyklů za sekundu, u hladké svaloviny trvají jednotlivé rytmy od 10 sekund až po 40 dnů. Zatím co uvedené rytmy svaloviny jsou pod kontrolou nervové soustavy, existují i

vlastní myogenní (svalové) rytmy, které naopak mohou být i značně rychlé. Týká se to např. rytmů stahů svaloviny křídel u hmyzu (až 2200 stahů/sek.) nebo stahů srdeční tkáně. Důležitý příklad tohoto typu endogenních biorytmů nalézáme i přímo v cytoplasmě - zde např. rytmické stahy plasmodia mají dobu trvání 20 - 200 vteřin. Obdobně je možné pozorovat i pulsaci vakuol či pohyb řasinek u prvoků (až 40 cyklů/sek.).

4.3.1.1. Regulace spontánních (nekorelovaných) biorytmů

Většina přirozených spontánních biorytmů je regulována. Jako příklad může sloužit regulace rytmicity dýchání - viz obr. č. 27. Jde o uzavřenou zpětnou vazbu reflexu, kde jednotlivé kroky řetězce ovlivňují následující krok. Obdobně to platí o dalších podobných endogenních rytmech, např. o tzv. pupičním reflexu.

Frekvence endogenních biorytmů se liší u jednotlivých orgánů, případně se může lišit i u různých částí téhož orgánu (např. odlišná frekvence srdečních tepů v předsíních a komorách srdečních v případě, že je porušena regulace prostřednictvím Purkyňových vláken). To, že jednotlivé rytmy jsou spontánní, nevylučuje skutečnost, že mohou být **kontrolovány**, ať již z center v organismu či zvenčí. Srdeční tep proto narůstá, obdobně jako frekvence dýchání, v důsledku tělesné námahy či emočních podnětů. Znamená to, že regulace prostřednictvím autonomního nervového systému je nasazena *nad* primární autoregulací příslušného biorytmu. Tak je např. zprostředkována nejen potřebná změna srdečního rytmu, ale i změna ve frekvenci dýchání při zvýšení koncentrace CO_2 v krvi - změna pH ovlivní příslušný receptor a na základě změny v dýchacím centru v prodloužené míše se zvyšuje frekvence dýchání. Totéž platí i o vlivech humorálních, tj. o hormonech a dalších biologicky důležitých látkách nebo o vyšších úrovních nervové soustavy včetně kůry mozkové. Podstatou uvedených mechanismů je tedy snaha o udržení stálosti vnitřního prostředí a to v rozsahu daném oscilací bioosilátorů. Uplatňují se přitom mechanismy zpětné vazby. Patologické podmínky mohou vést k vývoji patologických rytmů se změněnou frekvencí. Různé biorytmy jsou navzájem provázány a vzájemně na sebe působí. Jako příklad je možné uvést vzájemné ovlivnění pulsu a frekvence dýchání - srdeční tep mění svou frekvenci při nádechu proti frekvenci při výdechu - tento stav nazýváme **respirační arytmií**. Otázce vztahu pulsu a frekvence dýchání se věnoval HILDEBRANDT (1953). Podle něj má poměr puls/dýchání přibližně hodnotu 4, s výkyvy podél této průměrné hodnoty na obě strany. Tento kvocient vykazuje také zřetelný 24-ti hodinový rytmus, koreluje s barometrickým tlakem a jeho výkyvy se zvětšují v průběhu různých onemocnění. Vzájemné provázání pulsových a dýchacích rytmů se usku- tečňuje v CNS a to v centrech oběhových a dýchacích. Propojení biologických oscilátorů existuje i v případě rytmů stahů srdečních předsíní a komor při neúplném síňokomorovém bloku, projevuje se rozdílným počtem tepů v předsíních a komorách a nepravidelností těchto tepů. To již pochopitelně jde o patologické podmínky, stejně jako v případě Cheyne-Stokeova dýchání, při kterém se střídají období rychlého dýchání (až 1x za sekundu) s obdobími normálního dýchání (cca 20x za sekundu). Tento stav je způsoben poruchou v regulaci dýchání, jak je schematicky znázorněno na obr. č. 28.

4.3.1.2. Endogenní biorytmy v nervovém systému

Horní teoretický limit frekvence těchto biorytmů je 1000 - 2000 cyklů/sek. Prakticky však zřídka tyto oscilace přesahují 200 cyklů/sek. (rozsah 5-200 cyklů/sek.). Na EEG (elektroencefalogram) zachycujeme změny elektrických potenciálů nervových buněk, jejichž frekvence se pohybují od 1 do 60 cyklů/sek. Na EEG je možné odlišit několik typických vln a to : delta < 3.5 cyklů za sekundu theta < 4.7 cyklů za sekundu alfa 8-13 cyklů za sekundu beta 14-18 cyklů za sekundu gama 20-60 cyklů za sekundu Rytmicita těchto vln se mění s věkem - u dětí jsou nižší zejména vlny theta a alfa. Typicky jsou tyto EEG křivky změněny za patologických stavů, např. při epilepsii se mění vlny delta a gama. Pro ty, kteří chtějí experimentálně studovat uvedené změny na EEG je zajímavé (ale také varující) zjištění HALBERGA (1960), že u myši je možné pozorovat výrazné změny na EEG již při samotném objevení se experimentátora v místnosti, kde jsou myši chovány. Proto také mají tak velký význam telemetrické metodiky, které tuto možnost zkusobně vylučují. Schopnost vnímat vyšší frekvence rytmických změn je omezena při zvýšení této frekvence nad určitou úroveň. Tak např. zvuky o frekvenci 20 000 cyklů/sek. jsou již lidmi vnímány jako jednotlivý tón.

Obdobně to platí o schopnosti vnímat rytmické změny světla o vysoké frekvenci - tam stačí u člověka více než 50 cyklů/sek. k tomu, abychom vnímali pouze stále světlo. Na této skutečnosti se také zakládá naše vnímání filmu či televize.

4.3.1.3. Přírozené pohybové rytmy Tyto rytmy jsou rovněž ovládané centrální nervovou soustavou, kromě nervové soustavy je v nich však zapojena i svalstva. Mechanismy uvedených rytmů si můžeme schematicky znázornit tak, jak ukazuje obr. č. 29.

Spontánní frekvence těchto biorytmů se pohybuje kolem dvou cyklů/sek., při maximálním ovlivnění různými vnějšími i vnitřními faktory může být jejich frekvence až 6 cyklů/sek.

4.3.1.4. Frekvence tepu u člověka Puls je jedním z nejdéle známých spontánních biorytmů. Přírozený rytmus, odpovídající cca 65 tepů za minutu, je u každého jedince značně stabilní. U některých osob však je možno zaznamenat hodnoty tepu značně nižší, např. Zátopek měl v době své aktivní sportovní dráhy tep 27/min. Nižší frekvence pulsu představuje u sportovce značnou výhodu, protože rozsah zvýšení pulsové frekvence při pohybové aktivitě je pak vyšší. Frekvence tepů je kromě pohybu ovlivněna i tělesnou teplotou a to tak, že se vzestupem teploty těla o 1^o C stoupne počet tepů cca o 10. Za patologických stavů může tepová frekvence stoupnout až na 350 cyklů/min. To odpovídá také maximu frekvence u dějů ovládaných nervovou soustavou, tj. cca 6 cyklů/sek - je to i logické vzhledem k tomu, že srdeční frekvence je kontrolována autonomním nervstvem. Jednotlivé části srdečního svalu mohou mít spontánní rytmicitu rozdílnou, např. hrot srdeční má pouze 20 stahů/min., zatímco jiné části 60-70 stahů/min. Schematicky je znázorněn mechanismus rytmicity srdečních stahů na obr. č. 30.

Místem primární automacie je **sinusový** (KEITH-FLACKŮV) uzel, z něhož se vzruchy šíří na síně a ze síně svaloviny pak na uzel sekundární automacie, **atrioventrikulární** (ASCHOFF-TAWARŮV). Mezi oběma uzly tedy neexistuje žádné spojení specifickou vodivou tkání. Z atrioventrikulárního uzlu jsou pak vzruchy převáděny tenkým **Hisovým svazkem** do komor. Svazek se dělí na dvě raménka pro pravou a levou komoru a dále se v srdeční svalovině rozvětluje až na **Purkyňova vlákna**. Pokud je spojení mezi sinusovým a atrioventrikulárním uzlem přerušeno, mohou komory tepat svým vlastním rytmem, který je pomalejší. Poruchy vodivosti vzruchu představují zejména tzv. **blokády** (částečné či úplné), které označujeme podle místa vzniku buď jako sinoaurikulární - od primárního uzlu - či atrioventrikulární (tyto jsou z patologického hlediska závažnější). Soustava automatické stažlivosti srdce je provázána četnými nervovými vlákny a gangliovými buňkami, které patří k vegetativnímu nervstvu. K srdci přicházejí jednak sympatická vlákna a to z krčního a hrudního sympatiku, jednak parasympatická z bloudivého nervu. Působením těchto tzv. **extra-kardiálních nervů** může být vedení nervového vzruchu v automatické srdeční soustavě zpomaleno (v případě parasympatiku) nebo urychleno (v případě sympatiku). Tímto způsobem je zajišťováno, že rytmicitu srdečních stahů se průběžně mění podle aktuální potřeby organismu. Upatňovat se mohou i vlivy vzruchů přicházejících z plic a také podněty přicházející z vyšších oddílů CNS (stresové i emoční změny frekvence stahů myokardu). Samostatnou kapitolou je chemické resp. humorální ovlivnění srdeční činnosti, tj. koncentrací O₂, CO₂ nebo hormonů a dalších biologicky aktivních působků. Každý srdeční stah - **stysola** - vyvolá v oběhu krevním pulsovou vlnu, proto se krevní tlak v cévách cyklicky mění. Velikost a časový průběh těchto změn může být zaznamenán, např. plethysmograficky. Křivka těchto změn je značně komplikovaná, protože interferuje i odraz tlakové vlny na cévní stěně (tímto způsobem se mohou projevit i aterosklerotické změny cév!).

4.3.1.5. Frekvence dýchání u člověka Počet dýchacích pohybů se u člověka /stejně jako u živočichů mění s věkem - u novorozence je to až 60 dechů za minutu, zatímco u dospělého 14-20 dechů za minutu. Dýchání je spojeno s řadou dalších fyziologických pochodů v organismu, proto se jeho cyklické změny projevují v řadě dalších ukazatelů, jako např. v acidobazické rovnováze a pod. I za fyziologických podmínek je možno zaznamenat menší změny frekvence dechové pod vlivem např. věku, nadmořské výšky, okolní teploty, velikosti pohybové aktivity a pod. (ve spánku frekvence dýchání poněkud poklesá). Větší změny je možno pozorovat za patologických podmínek, jako je nadměrná námaha, stres, zvýšená teplota těla a pod. V rytmicitě dýchání můžeme pozorovat i cykly o jiných časových periodách a to v trvání 1 - 4 - 9 - 20 - 40 a 150 minut.

4.3.1.6. Vztah frekvence biorytmů a rozměrů těla Malí živočichové mohou mít frekvenci oscilací větší

než živočichové malých rozměrů. Je to dáno i tím, že mají kratší nervové dráhy, menší rozměry mají i různé další mechanismy navazující na tyto dráhy. Proto je také např. záporná závislost mezi rozměry těla a tepovou resp. dýchací frekvencí. U netopýrů o váze 4 g je tepová frekvence až 1000 tepů /min., zatímco dvoutunový slon má pouze 20 tepů/min. Obdobně se liší i jejich dechová frekvence - u netopýra je to cca 240 dechů/min., u slona 4 dechy/min.

4.3.2. Endogenní rytmy s externími korelátů

Tento druh endogenních rytmů se, na rozdíl od spontánních rytmů bez korelátů, vyznačuje určitou nezávislostí na teplotě a také na chemických podnětech. Do této kategorie rytmů patří také nejvíce studované biorytmy - přibližně 24ti hodinové - a dále rytmy s jinou délkou trvání, např. v závislosti na pohybu Luny nebo Slunce. Tyto rytmy vyznačující se určitou poměrně snadno měřitelnou délkou trvání jednoho cyklu, jako např. 24 hodin, se staly objektem zkoumání již před několika sty léty. Již opakovaně jsme se zabývali pozorováním spánkových pohybů listů různých rostlin a právě u tohoto rytmu bylo poprvé pozorováno, že rytmus nastupuje a přetrvává i za podmínek třeba úplné tmy či za různé okolní teploty. A právě to, po řadě překonání různými badateli, se stalo dokladem pro jejich endogenní charakter, i když se původně předpokládalo, že různé biorytmy jsou dány pouze vnějšími faktory.

4.3.2.1. Cirkadiánní endogenní biorytmy Tento druh biorytmů je velice často sledován u nejrůznějších rostlinných a živočišných druhů. Způsob vysvětlení vzniku 24ti hodinových rytmů je celá řada: 1) Vznikly přírodním výběrem. 2) Jsou výsledkem interakce 24ti hodinových synchronizátorů s přirozeně se vyskytujícími rytmy, jejichž frekvence mohla původně být i značně odlišná od frekvence 24ti hodinové. 3) Jako transformace 24-ti hodinového externího synchronizátoru v organismu. 4) Jako odraz nějakých čistě endogenních rytmů, jejichž frekvence jsou nejbližší 24ti hodinovému rytmu. Řada nálezu nasvědčuje tomu, že některé cirkadiánní rytmy jsou skutečně relativně stálé, s individuálními variacemi pouze kolem 4%. Mezi jedinci téhož druhu, a pochopitelně ještě více mezi různými druhy, přitom mohou být rozdíly větší. Tyto rozdíly se mohou projevit i posunem vrcholů těchto rytmů, tzv. piků - některé živočišné druhy jsou např. aktivní ve tmě, jiné za dne. Tentýž proces může mít různou frekvenci rytmicity či jiné fáze v různých částech (orgánech) téhož organismu.

4.3.2.1.1. Nezávislost cirkadiánních biorytmů na teplotě Vzhledem k teplotní závislosti biochemických pochodů je většina procesů v živém organismu urychlována při zvýšení teploty. Při stoupnutí teploty o 10°C se zvyšuje úroveň metabolismu 2-3x. Pokud má tento druh rytmů základní mechanismus biochemický, dalo by se to očekávat i v případě frekvence uvedených rytmů, tj. že se zvýší na 2-3 násobek při stoupnutí teploty o 10°C. Cirkadiánní charakter rytmů však i za těchto podmínek zůstává zachován, proto se u těchto biorytmů hovoří o nezávislosti na teplotě. Relativní nezávislost 24ti hodinové rytmicity na teplotě okolí (obvykle v určitém rozmezí, 5-30°C) však neznamena, že tyto endogenní rytmy jsou na teplotě zcela nezávislé. Když jsou testovány jednotlivé fáze 24ti hodinového cyklu na působení teploty, ukáží se některé fáze citlivější a jiné méně citlivé pokud jde o vliv vnější teploty. To ukazuje následující obr. č. 31, na kterém jsou uvedeny změny rytmicity pohybu listů *Phaseolus coccineus*.

Na ose x jsou vyneseny hodiny začátku působení teploty 28°C namísto původní teploty 20°C, na ose y pak délka cyklu ve vztahu k době nástupu 28°C časového období. Čára přibližně v polovině ukazuje délku cyklu při 20°C a stálém osvětlení. Z obrázku je vidět, že působení 28°C v období krátce po maximum vede k prodloužení délky cyklu, ale o další 4 hodiny později naopak k jeho zkrácení. V tomto relativně krátkém časovém intervalu se tedy nalézají dvě poměrně značně rozdílná období, lišící se citlivostí na působení teploty. Nezávislost na teplotě je důležitým fyziologickým fenoménem. Podle PITTENDRIGHA (1954) musí mít smyslové orgány tu to charakteristiku, jinak by se všechny změnilly na receptory teploty. Vysvětlení nezávislosti cirkadiánních rytmů na teplotě je poměrně složité, je zde několik vysvětlení: 1) Pokud jsou tyto biorytmy skutečně svojí podstatou exogenní, pak je pochopitelná jejich nezávislost na teplotě - BROWN 1960 (kdyby platila tato téze, pak je závěr nepochybný). 2) Navzájem se vyrušuje tepelná závislost dvou či více na sebe navazujících pochodů,

příp. za pomoci biochemického servo- mechanismu - BRUCE a PITTENDRIGH 1954, HASTING a SWEENEY 1957 (řada badatelů ukazuje, že kompenzační pochody nejsou tak konsistentní, jako je nezávislost na teplotě, i když např. SMITT (1960) prokazuje, že je teoreticky možné, aby na teplotě nezávislý zpětněvazebný systém byl složen z částí, které na teplotě závislé jsou). 3) Podstatou jsou intramolekulární energetické oscilace, tyto jsou spíše nezávislé na teplotě (BRUCE a PITTENDRIGH 1954). 4) Podstatou jsou procesy difuze (semipermeabilní membrány!), konstanty těchto pochodů jsou stejného řádu, jako u endogenních rytmů - WENT 1960 (touto teorií je možno vysvětlit mnohé pozorované jevy, včetně pozorování snížených hodnot - biochemické inhibitory!). Nezávislost na teplotě platí v plné míře v určitém teplotním rozsahu, cca 10-30°C. Při nižších teplotách může dojít k výskytu vyšších frekvencí při nižší amplitudě, což znamená poruchu původního mechanismu.

4.3.2.1.2. Nezávislost circadiálních biorytmů na chemických podnětech Relativní necitlivost na toxické vlivy na buňku je obdobou tepelné nezávislosti endogenních rytmů. V tomto směru byly zkoušeny látky působící na fotosyntézu, na syntézu nukleových kyselin, či na respirační řetězec - tj. např. NaNO₃, NaCN, NaF, Na-arsenát, CuSO₄, AgNO₃, HgCl, urethan, kolchicin, éter, chinin, kokain atd. Zkoumán byl vliv na sporulaci, bioluminiscenci, pohyby rostlin, aktivity včel (včelí tance). Obecně se projevila pouze slabá odpověď pokud jde o ovlivnění časové periody. Pokud je koncentrace látky příliš vysoká, objevuje se odpověď jako u nízké teploty, tj. rychlejší frekvence a menší amplituda výkyvů hodnot. Je pravděpodobné, že některé látky působící na povrchu buněk (alkohol, papaverin, narkotika) mohou prodloužit trvání 24ti hodinových rytmů. Nebyly však nalezeny žádné jasné odpovědi, jaké by se daly očekávat, kdyby podstatou endogenních biorytmů s korelátami byly biochemické mechanismy. Proto nevysvětlujeme s původně rozšířenou představou, že základem rytmicity je u nich střídání asimilačních a disimilačních pochodů. Vysvětlení nezávislosti na chemických podnětech je však daleko obtížnější než v případě teploty a stále zůstáváme pouze na úrovni teoretických hypotéz, méně podložených než v případě tepelné nezávislosti.

4.3.2.1.3. Stabilita circadiálních rytmů Postupně se objevovaly další příklady přibližně 24ti hodinových (circadiálních) endogenních rytmů různých funkcí. Pokud zůstaneme u živočichů, je možné jmenovat např. schopnost včel vylétávat ve stejnou dobu dne za potravou i po několikadenním setrvání v úlu v důsledku špatného počasí (WAHL 1932). Tento nálezy, stejně jako ještě starší pozorování ze začátku tohoto století FORELA a BUTTEL-REEPENA (viz RENNER 1959) byl dále rozpracován FRISCHEM a jeho spolupracovníky (přehled viz FRISCH 1967). O jasně endogenním charakteru circadiálních biorytmů svědčí i nálezy o zachování cca 24ti hodinové rytmicity migrace pigmentu u *Ligia baudiana* podle KLEITMANA, 1940 (viz obr. č. 32) či líhnutí imag mušek *Drosophila* z kulek v určitou denní dobu a to po dobu 15ti generací chovaných místo v pravidelně se střídajícím světle a tmě pouze v neustálém světle - BÜNNING 1935 - viz obr. č. 33.

Za konstantních podmínek setrvávají rovněž různé endogenní rytmy metabolických funkcí, např. pokud jde o výdej CO₂ (viz RENSING 1968, LEVENGOOD 1969). Za konstantních podmínek pokračují rovněž circadiální změny různých metabolických funkcí u člověka (viz obr. č. 34).

Endogenní charakter circadiálních rytmů neznámá, že jsou na vnějších vlivech zcela nezávislé. Nejsnadněji se mohou časovým posunem světelné a tmavé fáze posunout fáze cyklu, tj. že maximum určité rytmické funkce se posune o cca 12 hodin. Celková délka cyklu, jak nasvědčuje řada pozorování, však zůstává cca 24 hodin, s určitým rozptylem (např. 22-26 hodin).

4.3.2.2. Lunární cykly Nejčastěji se vliv Měsíce na organismy projevuje prostřednictvím jeho vlivu na vodní hladinu, projevujícím se jako přílivy a odlivy. Týká se to řady mořských živočichů, poprvé především z pobřežní zony, kde se vliv přílivu a odlivu projevuje nejvýrazněji. Již začátkem tohoto století pozoroval BOHN (1903), že mořský červ *Convoluta*, který v přírodních podmínkách přílivu má pravidelný rytmus pohybu, si ho zachovává i v podmínkách akvária, kde se příliv nemůže projevit. O několik let později tentýž autor (BOHN 1906) popsal přetrvávání rytmických pohybů sasanek po 8 dnech pobytu v akváriu. Tato původní pozorování nebyla sice potvrzena novějšími pozorováními pokud jde o mořskou sasanou (De MILA a GEPPETTI 1964), ale v průběhu let byla za to rozšířena o řadu dalších druhů živočichů (přehled viz BÜNNING 1973). Velice jasná rytmicita plavání v závislosti na přílivu byla prokázána v rybičky pobřežní zony *Blennius pholis*, přičemž se prakticky nezměnila

uvedená rytmicita ani po 5 dnech úplného světla či úplné tmy (GIBSON 1965). Obdobně byla prokázána rytmicita vyplývající z 12,4 hodinové rytmicity přílivu na korýše Eurydice pulchra (JONES a NAYLOR 1970). Mezi rytmicitou vyplývající ze střídání přílivu a odlivu a cirkadiánní rytmicitou může existovat interakce, v některých případech může dokonce cirkadiánní rytmus úplně vytlačit rytmicitu přílivovou. Na obr. č. 35 můžeme vidět takový příklad u kraba *Carcinus maenas*. Na tomto obrázku vidíme, že pohybová aktivita uvedeného kraba má složku jednak cca 24ti hodinovou, jednak cca 12ti hodinovou. Pokusy s písečným izopodem *Exciroolana chiltoni* zdají se nasvědčovat představě, že u každého jedince existují současně dva oscilátory, jejichž doba trvání je cca 24 hodin (KLAPOW, 1972). To znamená, že navzájem na sebe působí perioda 24,8 hodin (neovlivněno světlem) s periodou cca 24ti hodinovou, která je světlem kontrolována. Tento předpoklad se zdá být potvrzován i dalšími pokusy, např. ENRIGHTA (1963) u *Synchelidia* - viz obr. č. 36.

Tentýž autor (ENRIGHT 1972) prokázal u jiného pobřežního druhu, *Exciroolana chiltoni*, setrvalost rytmů pohybu o trvání cca 24,9 hod. i ve stabilních podmínkách v laboratoři. Ještě zajímavější je skutečnost, že u některých druhů krabů, kteří nemají vůbec přílivovou rytmicitu o délce trvání 12,4 hodin, lze tuto rytmicitu vyvolat 15 hodin trvajícím ochlazením na 4°C (WILLIAMS a NAYLOR 1967). U kraba *Uca crenulata* se naopak projevuje vliv osvětlení pouze v dubnu a červenci (HONEGGER 1973). Je otázkou, jaké faktory se uplatňují při dlouhodobém působení přílivu resp. odlivu. Zdá se, že různé druhy pobřežních živočichů mohou reagovat na stejné vnější faktory odlišně. Důvodem může přitom být i skutečnost, že zatímco jedni reagují na změnu osvětlení, jiní na změnu hydrostatického tlaku vody (viz ENRIGHT 1961, WILLIAMS a NAYLOR 1967 či KLAPOW 1972). Přílivové resp. odlivové vlny jsou však pouze jedním z příkladů rytmicity vázané na působení Měsíce. Reprodukce u některých mořských živočichů je vázána na určitou měsíční fázi, ať již "přirůstání" či naopak "zmenšování" Měsíce či naopak na období úplňku či nového Měsíce. Takové příklady uvádí ve svých pracech např. HAVENSCHILD (1955) či CASPERS (1961). Snad nejznámějším případem je jedlý mořský červ palolo (*Eunice viridis*), jehož rozmnožování probíhá 2x do roka a to v říjnu a listopadu, vždy v poslední čtvrti měsíce. Poslední měsíční čtvrt' je důležitá pro sexuální aktivity i jiných mořských živočichů, např. pro rybičku jihokaliifornských pláží, *Leurestes tenuis* - její "svatební" tah nastává vždy asi den po úplňku. Tehdy je příliv maximální a oplozená vajíčka jsou v teplém písku do dalšího velkého přílivu, tj. na novoluní. Úhoři se objevují v Severním moři rovněž v závislosti na fázi měsíce (JENS 1953), podobně sledí (JENS 1954). Obdobné nálezy byly učiněny i u dalších mořských živočichů, např. mušlí, mořských ježků a pod. Lunární cykly se však objevují u druhů, které vůbec nežijí ve vodě. Tak BIRIUKOW (1964) popisuje u brouka *Calandra granaria* fototaktilní cykly, odpovídající lunárním fázím. Podobně u mýry *Heliothis zea* počty jedinců nalákaných na světlo odpovídají lunárním fázím (NĚMEC 1971). Vliv lunárních cyklů je experimentálně doložen dokonce i u savců (např. myši či krysy) ale také u primátů (SOLLERGER 1965). Uvedené rytmické změny, vznikající působením lunárních cyklů, přetrvávají i za laboratorních podmínek, kdy je vyloučeno přímé působení Luny. O tom, že jde skutečně o endogenní rytmy, svědčí i pokus STRUMWASSERA (1965), při kterém přetrval val lunární rytmus dokonce i v jedné nervové buňce izolovaného ganglia z *Aplysia californica*. Otázkou je, který faktor z lunárního cyklu se může uplatňovat při vzniku lunárně závislých rytmů v živých organismech. Vzhledem k relativně malé intenzitě lunárního světla (2000x menší u měsíce v úplňku než u slunečního světla!) se pochybovalo o tom, že se může uplatňovat jako dlouhodobý synchronizátor. Výsledky HAVENSCHILDA (1955), které ukazovaly udržení lunárního cyklu u *Platynereis* v laboratorních podmínkách aplikací světla v noci a to o intenzitě odpovídající měsíčnímu světlu, mohou být interpretovány i jako doklad přetrvání endogenního cyklu. Přesto lze z většiny pozorování odvodit, že endogenní lunární cykly - odpovídající 15 resp. 29 dennímu lunárnímu cyklu - u řady živočichů existují a že se přitom uplatňuje (způsobem doposud nepříliš jasným) měsíční světlo. V některých případech je předpokládána interakce lunárních cyklů s cykly cirkadiánními. Již jsme se zmiňovali o pokusech NAYLORA, kde je možno v aktivitě sledovaného kraba *Carcinus maenas* pozorovat dvě komponenty, obdobně to platí o výsledcích BROWNA a sp. (1958) o rytmu pohybu melanoforů u kraba *Uca*. Souvislost některých rozmnožovacích cyklů s cykly lunárními je jasná a je experimentálně doložena. To neplatí o menstruačním cyklu člověka a některých dalších primátů, i když

se nabízí na první pohled jasná paralela (délka trvání cyklu 28-29 dnů). I když nelze pochopitelně vyloučit, že se při jeho fylogenetickém vývoji mohly lunární cykly skutečně uplatnit, nelze ani vyloučit, že jde o náhodnou koincidence. WURTMAN a AXELROD (1965) předpokládají, že se přitom uplatňuje pineální žláza, obdobně jako při estrálním cyklu.

4.4. Chronopatologie

Biorytmy v organismu se mohou měnit v průběhu nemoci - mění se proto také např. schopnost vnímat čas, smysl pro určení času. Proto disciplína, která se uvedenými problémy zabývá, se nazývá **chronopatologie**. Rytmus vyskytující se při nemoci lze odvodit od rytmu za normálních podmínek. Ke změně rytmu přitom dochází pokud jde o tvar křivky, frekvenci či rozmezí výchylek. V nemocném organismu je obecná tendence k nestabilitě, ať již v důsledku přetížení regulačních soustav či z jejich vyčerpání (k přetížení může docházet spíše v časných stádiích nemoci, k vyčerpání pak v jejích pozdějších fázích). Tato nestabilita pak vede k tomu, že se buď vytváří nové rytmy či se zvyšuje frekvence již existujících oscilací. Když na organismus působí nadměrné vnější i vnitřní vlivy, dojde k vyvolání řady stressových mechanismů, pracujících na základě endokrinní a nervové zpětné vazby. Protože většina regulačních mechanismů je nervová, proto v této tkáni nacházíme patologické rytmy, projevující se tzv. oscilačními nemocemi. Patologické rytmy je možno dělit do několika skupin: - v periferní oblasti (somatické i nervové) - v centrální nervové soustavě -- oblast hypothalamu -- oblast korová

Proto pokud jde o patologické rytmy, lze odlišit (i když navzájem mohou být propojeny) patologické rytmy: - periferní - neuroendokrinní - korové (psychopatologie).

4.4.1. Periferní patologické biorytmy

Postupné zhoršování nemoci je možné pojímat jako pozitivní zpětnou vazbu (viz obr. č. 37). Pomocí této pozitivní zpětné vazby se nemoc stává horší a horší. Jako příklad si můžeme vzít třeba vznik srdeční nedostatečnosti (SOLLBERGER 1965): - srdce nemůže vyprázdnit všechnu přijatou krev - dochází k zadržování krve v komorách, k jejich dilataci - to se odráží ve zpomalené cirkulaci - dochází k anoxii a k sekundárnímu růstu objemu krve - větší zatížení srdce, zhoršení jeho energetické situace atd. Tento začarovaný kruh stále pokračuje, až dříve či později se dosáhne hranice kapacity systému a tím je ohrožen život organismu. Krize může zachránit život pacienta, protože dochází k zapojení zvláštních, tzv. **krizových mechanismů**. To však pomáhá pouze dočasně - pokud nedojde ke změně podmínky, která patologickou změnu rytmu vyvolala, roztáčí se za určitou dobu začarovaný kruh znovu a to s ještě větší intenzitou. Mechanismem může být pokles energetických rezerv v nemocném organismu, což vede k vynucenému střídání period klidu a obnovení, zejména když současně se zvyšuje zátěž organismu. Tak je např. možno pozorovat u diabetických pacientů pravidelný rytmus teploty těla s opakováním každých 7 dnů a to bez jakékoliv závislosti na životě a dění v průběhu tohoto období u pacienta. Stejně je možné pozorovat opakující se acidurii - pravidelnost je tak velká, že následující výskyt acidurie je možno naprosto přesně předpovědět. V průběhu nemoci se defekt v synchronizačním mechanismu může projevit v úplné jeho poruše - 24ti hodinový rytmus se může rozpadnout na kratší dobu trvající období. V období obnovení po náhlé poruše se mohou objevit atypické rytmy o trvání 4-5-6-7-8-10 dnů. Tyto patologické intervaly se mohou objevit např. po ozařování RTG paprsky, po podávání ACTH, hypotenziv (léků snižujících krevní tlak atd.).

4.4.2 Neuroendokrinní patologické biorytmy

Přímé poranění CNS může způsobit poruchu neuroendokrinní regulace. Již poměrně dávno byly pozorovány motorické a sensorické epileptické záchvaty. Ty jsou způsobeny drobnými změnami v kůře mozkové, které mají sklon synchronizovat elektrické výboje ve větších nervových svazcích. Do této skupiny poruch patří i patologické třesy (vzruchy vycházející z mozečku či kůry mozkové) srdeční arytmie, patologické periody změn krevního tlaku u hypertoniků (7-20 denní periody!). Zvláště jsou náchylné k patologické oscilační odpovědi hypothalamus a příslušná centra ve spánkové části kůry mozkové. Vzniklé poruchy dávají vznik patologickým periodám rytmičnosti nejrozličnějších endokrinních

a vegetativních funkcí, ov- livňujících metabolismus, motoriku, tělesnou teplotu, ale i činnost gastrointestinální soustavy atd. Kauzálními vlivy mohou přitom být např. mozkové nádory (především na hypofý- ze), dále fraktury lebeční či roztroušená skleróza, ale také encephalitida, sifylis, aterosklerotická ischemie mozku, ho- rečka, infekce nebo urémie. Existuje řada cyklicky probíhajících nemocí zasahujících endokrinní a autonomní nervovou soustavu. Jednotlivé jejich ataky se projevují často v intervalech 7-14-21-28 dnů, neob- vyklé však nejsou ani intervaly 48 hodinové či naopak až 6ti měsíční. Nejčastější perioda je ale kolem 20ti dnů, velikost této časové periody je přitom u jedince relativně stálá. Obdobné změny nacházíme 2x častěji u mužů než u žen, mo- hou se projevit v jakémkoliv věku a trvat buď velmi krátce nebo naopak celý život. Příčina je většinou neznámá, i když se hledá souvislost s infekcemi, hormonálními dysbalancemi, s vlivem 7 denního rytmu slunečního záření a pod. V každém případě je pravděpodobné, že příčinou je hypo- thalamické poškození způsobené jakýmkoliv z uvedených vlivů. Nasvědčuje tomu i skutečnost, že zcela obdobné změny nachází- me v případech prokázaných poškození hypothalamu. Většinou jsou tyto změny spojeny i s poruchami mentálními, což rovněž poukazuje na jejich centrální původ. Periodická onemocnění mohou být charakterizována rytmic- kými fluktuacemi jedné či více funkcí či symptomů: krevní tlak, srdeční tep, vaskulární spasmy, bolesti hlavy a migré- ny, závratě, trombocytopenie, krvácení z nosu, sedimentace, počet bílých krvinek, zvětšení sleziny, hematurie, hladina draslíku, vápníku, cholesterolu, bikarbonátu, bílkovin, ba- zální metabolismus a O₂ spotřeba, hlad či nadměrná chuť, elektrické změny na kůži, oční pohyby, třes, únava a těka- vost, nervozita, náladovost, spánek či naopak nadměrná akti- vita.

4.4.3 Biorytmy v psychopatologii

V podstatě není možné udělat reálnou hranici mezi hypo- thalamickými a psychickými rytmickými poruchami. Při probírá- ní předešlé problematiky byly zmíněny příklady onemocnění projevující se v korových poruchách, nikoliv však přímo men- tálních. Naopak - rytmické psychické poruchy jdou souběžně s poruchami hypothalamickými. Psychické aberace projevující se v základních našich pu- dech - instinktech - jako je spánek, jídlo či sexuální akti- vita, se nepochybně uplatňují prostřednictvím hypothalamické regulace. Psychická onemocnění jsou v současnosti považována za metabolická onemocnění. Rytmické chování se může objevo- vat, pokud se příslušný faktor cyklicky mění a tato změna překročí určitou minimální mez. Přesto je možné vidět určité obecné rozdíly mezi perio- dickými psychickými onemocněními a vlastními poruchami na úrovni mozkového kmene. Periody mentálních poruch mohou lehce přesáhnout i periodu 6ti měsíců, perioda je tím delší, čím je lokalizace poruchy kraniálnější v mozkovém kmenu (MENNINGER - LERCHENTAL 1960). Tento autor také považuje tyto rytmy za preformované primitivnější mechanismy, které jsou u normál- ních zdravých jedinců inhibovány kůrou mozkovou. Periodické změny psychózy je možné pozorovat jak u manic- ko- depresivní psychózy, tak u schizofrenie. Objevovat se mo- hou zejména v kritických obdobích, kdy mechanismy regulace jsou porušeny - puberta, klimakterium. Při těchto stavech se mohou periodicky projevovat tendence k sebevraždě, melanco- lie, apatie, halucinace, nespavost, homosexualita či pedofi- lie. Na obr. č. 38 jsou uvedeny výsledky záznamů mentálních a metabolických změn při tzv. periodických **katatoních**, které provedl GJESING (1955). Za primární důvod tento autor považo- vat retenci dusíku - lze to doložit i jeho úspěchem při zkra- cování katatonických fází regulací příjmu dusíku. Velice ús- pěšné bylo i podávání thyroideálních hormonů.

4.5. Vývojové a populační biorytmy

4.5.1. Vývoj biorytmů

Tento aspekt problematiky týkající se biorytmů zahrnuje dvě stránky: - vývoj v průběhu ontogeneze - vývoj v průběhu fylogeneze. Obě tyto stránky spolu souvisí a pouze komparativním studiem vývoje rytmů v průběhu ontogeneze u různých živočichů se můžeme dopátrat pravděpodobné cesty, jak se vyvíjely bio- rytmy bě- hem vývoje organismů od nejjednodušších forem počí- naje.

4.5.1.1. Vývoj biorytmů v průběhu ontogeneze Protože se embrya vyvíjejí v určité izolaci, dá se oče- kávat, že ty biorytmy, které se za těchto podmínek projeví, musí být endogenní a jsou další generaci vždy

předávány geneticky. S největší pravděpodobností tomu tak skutečně je, i když je třeba si uvědomit, že izolace embrya od vnějšího prostředí není úplná, ať již jde např. o relativně tenkou skořápku vajíček plazů či ptáků, nebo o propojení vyvíjejícího se savčího zárodku s matkou. Navíc se některé biorytmy objevují až za určitou dobu po narození, po styku s vnějšími podmínkami. To však není dáno jednoduše tím, že by bylo zapotřebí skutečně přímého působení různých synchronizátorů, ale zejména u organismů ve fylogenezi výše postavených - že spíše nejsou ještě plně vyvinuty všechny mechanismy, jejichž prostřednictvím se biorytmy vyvíjejí resp. udržují. Zejména u savců se jedná o stupeň vývoje centrální nervové soustavy, konkrétně např. retinohypotalamické soustavy. To ale neznamená, že by již v tomto stadiu vývoje, tj. ještě před narozením, rytmy i u vysoce organizovaných živočichů neexistovaly - proti tomu stojí celá řada experimentálních nálezů. Relativně snadněji jsou přístupná studiu embrya ptačí či plazů, vyvíjející se mimo matčino tělo, proto také byl vývoj biorytmů nejprve studován právě u nich. U kuřecích zárodků pozorovali PETREN a SOLLBERGER (1967), jak kolísá hladina jaterního glykogenu - viz obr. č. 39 - 41. Z obrázků vidíme, že před narozením jsou, pokud jde o hladinu glykogenu 3-4 cykly za den. Těsně před narozením (pravá část obrázku č. 39) je možné pozorovat určitou změnu, připomínající rytmicitu dospělých jedinců. Cirkadiánní dospělý rytmus, dobře synchronizovaný s externími rytmy, se objevuje okamžitě po narození.

Když si podrobněji prohlédneme jednotlivé za sebou následující obrázky, tak vidíme, že v embryonálním stadiu jsou spontánní rytmy o rychlejší frekvenci, které jsou s terminálním vývojem embrya postupně nahrazeny cyklem delším až cirkadiánním. Jak je vidět z prvního obrázku ze série (č. 39), je možné pozorovat rytmické změny v hladině glykogenu již u ranných embryonálních stádií, tj. 7-mý den před vylíhnutím. Blížící se doba líhnutí z vajíčka se projevuje napřed velkým vzestupem a pak následným poklesem hladiny jaterního glykogenu, který pokračuje i po vylíhnutí (hladovění v prvních hodinách), pak rytmicky hodnoty rychle stoupají, aby v dalších dnech se postupně ustalovaly na hodnotách dospělých jedinců. Další obrázek (č. 40) ukazuje 24ti hodinovou rytmicitu jaterního glykogenu v ranných embryonálních stádiích ve srovnání se situací u novorozenech kuřat. Poslední obrázek z této série (č. 41) ukazuje, jak vypadá rytmicita jaterního glykogenu v embryonálním stavu, u novorozenech kuřat a v prvních dnech po vylíhnutí ve srovnání s jedinci s již plně vyvinutou rytmicitou 5- 12 a 26ti denních kuřat (plná čára).

Obdobné výsledky byly zaznamenány i pokud jde o spotřebu O_2 a fyzickou aktivitu u kuřat před a po vylíhnutí (BARNWELL 1960, HEUSSNER a ZAHNEL 1963). SOLLBERGER (1965) uvádí jako zajímavost, že obdobné kratší rytmy, jako je možné pozorovat v embryonálním vývoji, se v dospělosti objevují v důsledku patologických stavů, jako zvýšení teploty při různých onemocněních a pod. (blíže o tom viz str.). U savců byly rovněž zjištěny ještě v embryonálním stadiu některé rytmické změny, týkající se např. srdečního tepu či intrauterinních pohybů. U savců se pravděpodobně výrazně podílí možnost kontroly těchto rytmů prostřednictvím pupečnickového oběhu. Uplatňuje se však i skutečnost, že některé rytmy se objevují až po narození z toho důvodu, že nejsou ještě plně vyvinuty mechanismy pro jejich udržování. To se týká např. tělesné teploty - přesto i u ní je již u novorozenců možné pozorovat určité (i když malé) cirkadiánní kolísání. Amplituda těchto kolísání se pak den ode dne zvyšuje (GYLLENSWARD 1951, HELLBRÜGGE 1960). Totéž platí pro další fyziologické parametry, jako je srdeční tep, hladina krevního cukru, sekrece různých iontů, kreatinu a kreatininu a pod. Typický endogenním rytmem, na kterém můžeme pozorovat jeho vývoj u novorozenců a v pozdějším vývoji, je rytmicita spánku a probouzení (KLEITMAN 1964) - viz obr. č. 42-43. Na obrázku č. 42 nalevo je ukázán vývoj rytmu spánku x probuzení u dětí narozených v termínu a narozených předčasně. Ani u jedné ze skupin není možné najít 24ti hodinový rytmus - to je možné najít až u dětí 3-6 týdnů starých. Do té doby je možné pozorovat rytmy kratší - a to 4-2 až 1 hodinové. Napravo je ukázán postupný vývoj rytmicity mrkání očí a tepu srdečního u nedonošeného dítěte - maxima jsou dána u rytmicity očí příjmem potravy.

Na dalším obrázku, č. 43, nalevo je ukázán u nedonošeného děčka podrobněji 24-ti hodinový rytmus mrkání (otevírání očí) a srdečního tepu od 1. do 3. týdne vývoje. Napravo u donošeného děčka je opět srdeční tep a také tělesná teplota - je vidět vývoj zejména od 4. do 5. týdne. Relativně dost dalších poznatků bylo shromážděno o postnatálním vývoji různých rytmických dějů jak u dětí (viz např.

MILLS 1975), ale i u laboratorních zvířat (COCCHI a sp. 1976, BEAM a HENNING 1978, SAITO a sp. 1978, BERGER 1980 atd.). Vztahy mezi rytmicitou externích podmínek a vývojem bio-rytmů jsou velice složité. Tak např. KLOTSCHOV a BELYAEV (1978) prokázali, že nepřetržité osvětlení samic potkanů zvyšuje váhu jejich potomků. Překvapivé však je, že ovlivněna je nejen generace bezprostředně následující po nepřetržitém osvětlení, ale i generace další, kdy byly již samice chovány v prostředí s pravidelným střídáním světla a tmy. Zajímavá sledování byla rovněž prováděna u mláďat klokanů, která jsou v matčině vaku relativně dobře izolována od působení externích rytmických změn. U těchto mláďat 15 dnů před opuštěním vaku byla zjištěna cirkadiánní rytmicita spánku, stejná u mláďat, jejichž matka byla v LD 12:12 nebo ve stálém osvětlení (ASTIE a sp. 1976). Autoři z toho vyvodili závěr, že některé cirkadiánní rytmy vznikají v ontogenezi jako rytmy endogenní, aniž by byly iniciovány (resp. synchronizovány) externími rytmy z vnějšího prostředí. Do ontogeneze patří nejen ranná stadia vývoje, ale i stáří. Proto byly sledovány biorytmy u starších jedinců a byly u nich nalezeny změny cirkadiánních rytmů (SAMIS 1977, SCHEWING a sp. 1978). To nasvědčuje tomu, že obdobně

jako další pochody, zhoršují se s postupujícím stářím i mechanismy udržující rytmicitu různých životních pochodů. Je nepochybné, že sladění biorytmů s rytmy probíhajícími v přírodě přispívá k tomu, zda daný jedinec přežije či nikoliv. Týká se to proto i cyklických změn, probíhajících v průběhu metamorfozy bezobratlých. Vylíhnutí imaga z kukly u hmyzu v určitou dobu dne a určitou dobu roku tak, aby podmínky pro přežití byly optimální, k přežití nesporně přispívá. To též se týká načasování líhnutí mořských živočichů (viz i str.) a řady dalších jevů. Do určité míry je s problémem vývoje biorytmů spjata i otázka jejich dědičnosti. Jednou z nejvíce zkoumaných otázek pokud jde o rytmy bylo, do jaké míry jsou endogenní rytmy skutečně zafixovány geneticky či zda nejsou spíše odrazem denních oscilací vnějšího prostředí v prvních stádiích vývoje. K objasnění tohoto problému - zda se endogenní biorytmy skutečně projeví - byly zvoleny různé experimentální přístupy. Předně byli živočichové a rostliny drženi v konstantních podmínkách světla a teploty od nejranějších stádií vývoje, případně po několik generací. Jiným experimentálním přístupem bylo studium vlivu jiného než užitého 24ti hodinového rytmu, např. střídání světla a tmy v intervalech 8 a 8 hodin a to u organismů v různých stádiích vývoje, včetně nejranějších. Všechny tyto pokusy dopadly obdobně - nezávisle na vnějších podmínkách projevují organismy své endogenní rytmy v rozmezí cyklicity o trvání kolem 24 hodin. Platí to i pro případ, že předchozí generace byla změněným podmínkám vystavena. Jako příklad lze uvést např. včely, udržující své 24ti hodinové rytmy nezávisle na konstantních podmínkách (WAHL 1932), totéž platí o *Drosophila* (BÜNNING 1935). Takový běžný případ je i u kuřat - vajíčka jsou chována za konstantních podmínek a kuřátka ihned od narození prokazují 24ti hodinovou rytmicitu různých biorytmů, jejich rytmy nejsou modifikovány ani nenormálními světelnými rytmy - třeba LD 9:9 hodin, či externími rytmy delšími, LD 18:18 hodin (HOFFMANN 1959). Jako extrémní příklad může sloužit již zmíněná muška *Drosophila* - 240 generací byla chována za podmínek konstantní tmy a přesto, že za 135 generací bylo možné pozorovat určité poruchy v rytmicitě, v dalších generacích se opět situace, pokud jde o rytmy, přiblížila 24ti hodinové rytmicitě u mušek, které byly chovány stále v podmínkách s 24ti hodinovou rytmicitou vnějších podmínek (MORI a sp. 1966). Obdobně myši chované po 25 generací ve stálém světle (BROWMAN 1952) mají u většiny jedinců zachovánu přibližně 24ti hodinovou rytmicitu. To, že se endogenní rytmy zřejmě dědí, neznamená však nutně, že se rytmicita musí projevit bezprostředně po narození. U člověka např. trvá několik týdnů, než se stanou denní rytmy různých fyziologických parametrů zřejmé (HELLBRÜGGE 1963). Některé nálezy (RENSING 1965) nasvědčují tomu, že v průběhu embryonálního života se rytmicita s výjimkou několika zásadních biorytmů většinou neprojevuje, což platí pro většinu obratlovců. Je to dáno skutečností, že možnost spuštění a neustálé obnovy biorytmů je vázána mj. také na vývoj orgánů, tyto rytmy koordinující, tj. u obratlovců nervové soustavy. To je spojeno jak s vývojem epifyzy tak hypotalamo-retinální osy. Původní embryonální rytmy jsou proto primitivnější a až s vývojem vyšších koordinačních orgánů se postupně stávají složitějšími. Zajímavé jsou výsledky s křížením rostlinných druhů s různou periodicitou biorytmů (BÜNNING 1932). V prvních generacích byla pozorována kompromisní periodicitu, zatímco v dalších generacích se v určitém poměru, daném Mendelovými zákony dědičnosti, projevují původní periody biorytmů.

4.5.1.2. Vývoj biorytmů v průběhu fylogeneze Problém fylogeneze biorytmů je otázkou, zda vůbec resp. jakým způsobem je evoluce biorytmů spojena s vývojem živých organismů na Zemi, tj. jaká je úloha biorytmů v rozvoji života (BERGER 1980). Rytmičké oscilace různých fyziologických funkcí byly postupně zjištěny u nejrůznějších organismů od nejjednodušších počínaje a člověkem konče. Dá se říci, že jde o zcela obecný charakter průběhu nejrůznějších funkcí v jakémkoliv živém organismu. Rytmy tedy nezávisle na vyšší složitosti organismů a můžeme je pozorovat i u jednobuněčných živočichů, jako je *Euglena* či *Paramecium*. Dokonce i práce věnované objasňování mechanismu udržování rytmicity v organismu byly dělány právě na jednobuněčných organismech (KARAKOSHIAN a HASTINGS 1963 či STRUMWASSER 1965). V roce 1957 BRUCE s PITTENDRIGHEM definovali cirkadiánní rytmy jako oscilace samy sebe udržující, tuto definici by bylo možné rozšířit na biorytmy obecně. Tyto rytmy vznikají v důsledku dlouhodobého působení oscilujících podmínek vnějšího prostředí jako vyvíjející se adaptace na tyto podmínky. Velice výraznou úlohu přitom hraje oscilace světla, na jehož rytmicitu se organismus napojuje a je jí synchronizován. Biologickým důsledkem této vyvíjející se synchronizace je

kontrolovaný časový průběh životně důležitých pochodů. To znamená např. v případě nejsilněji působících 24ti hodinových externích oscilací (zejména osvětlení), že tyto pochody probíhají ve zcela určitých časových bodech cyklu prostředí (WARD 1980). To, co je uvedeno o úloze oscilací světla, platí od značné míry pochopitelně i o rytmicitě teploty resp. dalších faktorů. Cirkadiánní rytmy jsou zřejmě nejrozšířenější formou biorytmů a pravděpodobně i formou nejstarší. Již jsme se zmínili o tom, že rytmicitu (např. cirkadiánní) nacházíme u široké škály organismů - je otázkou, zda všechny tyto biorytmy vznikly z jednoho historického kořene či zda jejich shodné projevy jsou pouze důsledkem nezávislého vývoje. Nezdá se však být pravděpodobné, že by pouze konvergencí se daly vysvětlit takové společné rysy jako např. jejich přesnost či nezávislost na teplotě. Je proto pravděpodobné, že se skutečně biorytmy vyvinuly před dávnými lety a až v pozdějším vývoji organismů mohl jejich vývoj u různých druhů probíhat poněkud odlišně (PITTENDRIGH 1965).

4.5.2. Populační cykly

Zajímavou problematikou je studium tzv. populačních cyklů, o kterých byla pořádána řada konferencí, sepsána řada knih a přitom jsme stále velmi daleko od stavu, že bychom byli schopni říci, že dobře víme, jak tyto cykly vznikají, co je jejich příčinou. O co jde? Když pozorujeme populaci živočichů žijících ve volné přírodě či za srovnatelných experimentálních podmínek, je často možné pozorovat u této populace pravidelné cykly. Dlouho známým příkladem takového cyklu je periodická migrace drobných savců - lumíků. Zdá se, že tento cyklus je možné zařadit do jedné z hlavních časových period, a to do období trvajících 3-4 roky. Obdobně jako lumíky lze do této skupiny zařadit dále pižmové krysy, králíky, lišky či z ptáků tetřivky, sovy či sokoly. Naproti tomu u jiných živočichů nalézáme časovou periodu delší, tj. 8-10 let - např. se to týká rysa, arktické lišky, zajíce. Ještě delší cykly - 35 let - byly pozorovány u kachen. Příčiny těchto cyklů nejsou známy a snaží se je vysvětlit řada teorií. Například lze uvést tyto: - Exogenní rytmy s neznámými synchronizéry (ERRINGTON 1957) - vzhledem k geografické distribuci těchto rytmů nemůžeme tuto možnost zcela vyloučit - Stres, který vede k samozničení či migraci (CHRISTIAN 1950). Vyrůstající přehustění populace - může působit buď přímo či nepřímo pokud jde o kompetici o potravu. Přímý vliv přemnožení byl pozorován u živočichů chovaných v zajetí (jde o přemnožení relativní, vzhledem k velikosti dostupného prostoru!) - obdoba s izolovanými skupinami opět v relativně malé prostře, po určité době zvířata zdivočejí a posléze umírají se všemi známkami neuroendokrinního stressového šoku. Sem může právě patřit i historicky nejdéle známý jev putování lumíků. Může jít o genetickou selekci danou zábranou přemnožení populace. Nemusí jít o přímý nedostatek jídla, ale pouze o psychologicky daný pocit tísně. - Periodický růst, vedoucí ke kompetici (soupeření) o potravu (HUTCHINSON 1954). Růst, ať již jednotlivce či populace, obsahuje pozitivní zpětně vazebný prvek - může jít (za ideálních podmínek naproti tomu volného růstu) o exponenciální růst s časem. Je však třeba zahrnout limitující faktory, včetně prostředí. Pokud jde o populaci, je možno pozorovat určitý čas oddechu, než populace a organismy v něm odpoví na vlivy prostředí a období rozmnožení. Uplatnit se může faktor dostatku potravy - vztah rostlinného a živočišného společenství. Synchronizace životních resp. reprodukčních období nepochybě může populační cykly ovlivňovat, zejména za podmínek, kdy v jejich určitém období působí nějaký stressující vliv, ať již působí stimulačně či inhibičně.

4.6. Exogenní biorytmy

Teoreticky by mělo být vše jasné - ty biorytmy, které nejsou skutečně endogenní, musí být exogenní. ASCHOFF a sp. (1965) nazývají na rozdíl od tzv. "aktivních systémů" (endogenní biorytmy) biorytmy exogenní "systémy pasivními". Důvodem je podle uvedených autorů skutečnost, že exogenní biorytmy vděčí za své oscilace pouze schopnosti zachycovat periodické proměny prostředí a odpovídat na ně rytmicitou svých pochodů. Podle některých názorů vlastně exogenní biorytmy ani pravými biorytmy nejsou, protože těmi jsou pouze ty oscilace, které pokračují i za nepřítomnosti periodických změn prostředí, zejména tedy osvětlení a teploty. Tuto podmínku splňují pouze endogenní biorytmy, které se udržují a obnovují samy, bez ohledu na změněné podmínky. Jako typický příklad exogenních biorytmů, jejichž periodicita je plně závislá na vnějších synchronizátorech, se udává fotosyntéza. Pochody fotosyntézy začínají s úsvitem a končí večer, kdy ustává osvětlení - ve tmě pokračovat

nemohou. Teorie a praxe nejsou vždy totožné, takže bylo zjištěno, že i řada endogenních biorytmů za konstantních podmínek postupně ustává. Dalším faktorem, který při nejmenším znesnadňuje určení, zda skutečně jde o endogenní biorytmus, je to, že si často nemůžeme být jisti, zda ve vnějším prostředí neexistuje nějaký periodicky se měnící faktor, o kterém zatím vůbec nevíme, a na který by organismus oscilacemi svých funkcí mohl odpovídat. Tento názor stále zastává jeden z klasiků studia biorytmů, BROWN (1970).

4.6.1. Historie výzkumu exogenních biorytmů

Ze začátku pozorování a pozdějšího skutečného studia biorytmů autoři nerozlišovali mezi endogenními a exogenními rytmy, hlavní bylo zjistit, zda určitá funkce v organismu má rytmický charakter či nikoliv. Pak bylo ale zjištěno, že celá řada parametrů v organismu podléhá rytmicitám, jejichž délka trvání odpovídá periodicitám externím, tj. cca 24ti hodinové, lunární, sezónní či roční. Rytmicita byla poté vysvětlována jednoznačně jako aktuální závislost na těchto faktorech. Další a podrobnější studium však ukázalo, že celá řada biorytmů přetrvává i v konstantních podmínkách, kdy se tedy vnější faktory uplatnit skutečně nemohou. U řady biorytmů byla prokázána jejich dědičnost - bez toho by těžko bylo lze vysvětlit zjištění, že se určité biorytmy objevují např. u ještěrek či ptáků, vylíhlých z vajíčka chovaného v konstantních podmínkách. Stejně tak bez dědičného předání potřebných informací by se nemohly mladé ryby dostávat do míst rozmnožování, kde nikdy nebyly (mořské ryby do řek a naopak!) podobně jako mladí ptáci - a to opět bez dospělých jedinců - do svých zimovišť. Většina autorů se tedy přiklonila naopak k tomu, že až na malé výjimky jsou všechny biorytmy endogenní. Zatvrzele na svém přesvědčení, že biorytmy jsou způsobovány nějakým vnějším faktorem, zůstával pouze BROWN se svými spolupracovníky. Důvodem jeho odlišných názorů možná je, že hned na začátku své vědecké dráhy se zabýval jinými rytmy, než většina současných badatelů - nikoliv rytmy 24ti hodinovými ale lunárními. BROWN měl možnost na bermudské biologické stanici, díky prof. MARKOVI, pozorovat hned dva rytmické jevy, spojené s určitou fází Měsíce - shlukování bermudských garnátů a dobu rozmnožování světélkujících atlantických kroužkových červů *Odontosyllis* (BROWN, 1967). Lunární cykly také zůstaly v centru jeho pozornosti i v dalších letech, např. v jeho studiích s WEBBOVOU na krabech *Uca* (1944). U těchto krabů našli oba autoři kromě 24ti hodinové rytmicity změny barvy zcela jiný rytmus, spjatý s přílivem a odlivem, tedy s působením Měsíce. Zatím co za odlivu běhají krabi po písčité pláži dolů za potravou, za přílivu se stahují nazpátek a odpočívají. Tento rytmus odpovídá délkou periody měsíčnímu dni. Stejný rytmus si krabi zachovávají i za konstantních podmínek v laboratoři. BROWN zkoumal i jiné druhy přílivových živočichů, než je krab *Uca*. Mezi jiným také dělal studie na ústřicích, u kterých zjistil nejširší otevírání skořápek v době přílivu. Když byly ústřice přeneseny do vnitrozemí, do nádrže s mořskou vodou a v temné místnosti, tak po dva týdny otevíraly své skořáčky ve stejnou dobu, jako kdyby byly stále na pobřeží. Po dvou týdnech ale došlo k přizpůsobení se místní periodicitě lunárních fází a ústřice se otevíraly v době, kdy by v této vnitrozemské lokalitě přicházel příliv (BROWN 1962). V jiných pokusech, tentokrát na rostlinném modelu - bramboru - porovnával BROWN (1959) spotřebu kyslíku kousku bramboru se změnami atmosférického tlaku - viz obr. č. 44. Jak ukazuje tento obrázek, existuje velice zajímavá shoda (s určitým časovým posunem) mezi ukazatelem látkové přeměny a změnami atmosférického tlaku. Zřetelné vztahy intenzity metabolismu našel BROWN také k fázi měsíce a sezóně roku.

Stejnou schopnost "předvídat" změny barometrického tlaku našli v BROWNOVĚ laboratoři nejen u dalších rostlin, ale i u krabů, ústřic a dokonce i u krys. BROWN našel i závislost intenzity metabolismu u již jmenovaného kraba *Uca* na změnách kosmického záření, u plže vršatky (*Nassarius*) zase schopnost vnímat změny magnetismu a využívat toho k orientaci (BROWN a sp. 1964). Takto tedy BROWN narušuje "jednotnou frontu" badatelů v chronobiologii a to tím, že poukazuje na to, že teorie endogenních biorytmů resp. endogenních hodin nestačí k tomu, aby sama o sobě vysvětlila všechny pozorované jevy pokud jde o rytmické kolísání v organismu. ASCHOFF (1965) svými sledováními u lidských dobrovolníků rovněž přinesl doklady o tom, že u člověka není dost dobře možné hovořit o endogenních hodinách jako o něčem neměnitelném. Jeden z jeho pokusných objektů totiž byl schopen vědomě měnit délku periody aktivity - z délky 19 hodin vyvolané intenzivním světlem přešel na 25.6 hodin. FIGALA (1980) uvádí, že na rozdíl od živočichů i rostlin, pro které je nejdůležitějším

časovačem světlo, zdá se všechno nasvědčovat tomu, že u člověka ovlivňují biorytmy nejvíce sociální signály - jejich prostředníkem může být i zvuk. FIGALA (1980) upozorňuje rovněž na možnost zkraslení některých laboratorních pokusů tzv. "klecovým efektem". Běží totiž o to, že samotné zajetí a velikost klece mají nikoliv nedůležitý efekt na rytmy např. tělesné aktivity. Proto mají tak velký význam telemetrická měření (přístroje díky kosmickým výzkumům se dostatečně miniaturizovaly!), která již přinesla řadu zajímavých výsledků. Tak např. u ondatry (*Ondatra zibethicus*) byl telemetricky zjištěn dvoufázový rytmus aktivity koncem letního a počátkem podzimního období, tj. aktivita za noci i ve dne. Toto zjištění lze uvést do souvislosti s urychlenou stavbou jejich zimních obydlí do zamrznutí vodní hladiny. Podobně u veverka (*Sciurus carolinensis*) bylo zjištěno pomocí telemetrických záznamů, že nejen mění svoji aktivitu během roku, ale i v závislosti na dalších faktorech (potrava, změny počasí a pod.) - viz FIGALA (1980).

4.6.2. Problémy zjišťování exogenního charakteru biorytmů

Největší problém dělá stanovení toho, zda jde o rytmy endo- nebo exogenní u rytmů trvajících přibližně 24 hodin. Již jsme si uváděli příklady cirkadiánních rytmů - ty však bylo možné zařadit do biorytmů endogenních, které, alespoň z větší části a po určitou dobu, se objevují i v neměnných podmínkách světelných, tepelných a pod. Co je potom u rytmů trvajících 24 hodin skutečně příklad exogenního biorytmu? Obávám se, že dokonalý příklad toho, že by určitý cirkadiánní rytmus nějaké funkce v organismu - snad právě s výjimkou fotosyntézy - bez působení synchronizátoru zásadně vůbec neprobíhal, těžko najdeme. Spíše najdeme příklady, a to u většiny živočichů, že se exogenní složka účastní při ovlivnění biorytmů svou povahou endogenních. Z tohoto hlediska se jasně uplatňuje zejména vliv světla (fotoperiodismus), které se uplatnilo nejen v průběhu fylogeneze, ale je schopné modifikovat i vrozené rytmy. To se týká těch pokusů, které ukazují, že v řadě případů se změněným LD poměrem se po určité době podaří vyvolat změnu biorytmu (HAUTY 1960) stejně jako změnou intenzity světla (ASCHOFFOVO pravidlo: větší světelnost periodu zkracuje, menší prodlužuje). Exogenní složka se uplatňuje také v případě patologických podmínek, tj. např. při různých nemocech. Již jsme na jiném místě uvedli, že v průběhu různých onemocnění se ztrácí původní cirkadiánní rytmus a je nahražován rytmicitou o kratší periodě. K této změně dochází velice brzy po vypuknutí nemoci a zjištění ztráty původní rytmicity může být použita i jako diagnostická metoda. Platí to nejen o somatických, ale i o psychických onemocněních. Poněkud snadnější to snad je v případě jiných časových period, např. sezónních. Zejména poikilothermní živočichové jsou plně závislí, pokud jde o aktivitu, na okolní teplotě. Se sezónními změnami světla a tepla jsou u nich spjaty nejrozličnější rytmy a to jak u bezobratlých tak i u nižších obratlovců (aktivita, metamorfóza a diapauza, rozmnožovací cykly a pod.). Ihned se ovšem ocitneme v úzkých, pokud budeme chtít třeba migrace některých druhů ryb spojené s rozmnožováním prohlašovat za čistě exogenní - těžko bychom potom vysvětlili, jak je možné, že mladí jedinci se vydávají na cesty do místa, kde nikdy nebyli. Totéž platí o jasně sezónní migraci ptáků - vnější podmínky časují nástup např. odletu do zimovišť, ale samotný fakt, že pták vůbec migruje a ví kam - to je již, jak vyplývá z pokusů KRAMERA a jeho následovníků - dědičně zafixováno a má tedy endogenní charakter. Sezónní změny v aktivitě endokrinních žláz byla pozorována i u savců volně žijících v přírodě. Světlo (přesněji: délka dne) se zdá být při těchto změnách dominantním synchronizátorem, i když se mohou uplatňovat i další faktory. Z tohoto hlediska je pochopitelné, že relativně méně se různé sezónní rytmy objevují u živočichů, žijících ve stabilizovaných podmínkách po celý rok, týká se to jak různých domestikovaných živočichů, tak i samotného civilizovaného člověka. Na druhé straně ovšem to, že se i za stabilizovaných podmínek světla a teploty (např. u zvířat chovaných v laboratoři!) vůbec sezónní rytmy objevují, nasvědčuje jejich (alespoň částečnému) endogennímu charakteru. Je asi možné souhlasit se SOLLBERGEREM (1965), který po vyhodnocení velkého materiálu o různých rytmech v souvislosti s exogeností biorytmů uzavírá, že přes velký počet teorií o exogenosti některých biorytmů víme doposud velmi málo o tom, jaká je skutečná situace. Většina experimentálního materiálu se totiž dá interpretovat diametrálně odlišným způsobem a bylo by zapotřebí daleko více sledování, abychom mohli nějakou obecně platnou teorii o exogenosti biorytmů u jedince, v průběhu jeho života, doložit. Možná zní poněkud překvapivě, že by bylo potřebí daleko více materiálu, když víme o tom, jak mnoho

údaje zejména o cirkadiálních biorytmech bylo shromážděno. Neznamená to rozšiřovat dále kvantitu poznatků, ale naopak začít jasně definovat endogenní a exogenní složku. Již některé existující nálezy ukazují, že setrvalost jednotlivých biorytmů je odlišná - ke změně některých z nich nestačí ani řada týdnů (resp. třeba u *Drosophila* řada generací!), zatím co jiné z nich vyžadují maximálně jeden týden k tomu, aby došlo k jejich změně. Dá se tedy - jako jedna z hypotéz - předpokládat, že není zásadní rozdíl mezi endogenními a exogenními biorytmy, oba typy se liší pouze stabilitou při změně externích vlivů. Můžeme si představit souvislou řadu typů, ve které na jedné straně budou velice stabilní biorytmy, vzniklé v průběhu dlouhodobého vývoje a setrvalých externích podmínek, na druhé pak biorytmy, které se mění prakticky bezprostředně po změně určitých synchronizátorů. Mezi tím je řada přechodných typů biorytmů, lišících se právě pouze svojí stabilitou při větších změnách vnějšího prostředí. Upřímně řečeno, pro organismus je zapotřebí, aby měl dvě protikladné vlastnosti. Na jedné straně by měl mít určité stabilní biorytmy, zaručující jistou stabilitu vnitřního prostředí, na druhé straně musí mít i schopnost se změnícím rytmitám přizpůsobovat. Za takových variabilních podmínek by měl nejen přežít jako jedinec ale také se rozmnožovat a tak dát možnost přežití nejen individuálnímu ale i druhovému. Ale to již se dostáváme spíše do problematiky obecně adaptační, která rámec těchto skript přesahuje. V každém případě bychom si však měli uvědomit, že situace se zjišťováním endogenity či exogenity není stále příliš jasná a že nám chybí mnoho podkladů pro jasné definice. Je nakonec otázka, zda jasné definice odpovídají vůbec reálnému a mnohotvárnému světu živých organismů a jejich vztahů s externími faktory. Když k tomu přidáme ještě předpoklad BROWNŮV, že ani neznáme všechny externí faktory, které mohou biorytmy modifikovat, pak před námi stojí ještě větší úkol, než se na první pohled zdá.

4.7. Regulace biorytmů

Rytmicke projevy probíhající v živých organismech, ať již endogenní či exogenní, musí být určitým způsobem regulovány. Tato regulace je dvojí: - vnější - vnitřní

4.7.1. Vnější regulace biorytmů

Vnější regulaci představují *synchronizátory*, které u exogenních biorytmů prakticky úplně definují frekvenci i délku trvání těchto biorytmů. Pochopitelně mohou do určité míry ovlivňovat (případně po dostatečné době ve fylogenezi i měnit!) i biorytmy endogenní. Jak jsme se již zmiňovali, nejčastějším synchronizátorem je **světlo**, uplatňovat se mohou, zejména v nepřítomnosti resp. při stabilní světelné úrovni, i další synchronizátory. Různé synchronizátory se mohou uplatňovat rozličnou měrou v různých biologických oscilátorech (BERGER 1979). Tak např. je cirkadiální rytmus tělesné teploty u potkanů synchronizován světlem, zatím co rytmus hladiny kortikosteroidů v krvi je u nich určován příjmem potravy (KRIEGER 1977, KRIEGER a HAUSER 1978). O tom, že tentýž synchronizátor nemusí vždy působit stejně na různé biorytmy, svědčí i nález MOORE-EDE a sp. (1977), že k synchronizaci jednotlivých biorytmů dochází po různé době působení daného synchronizátoru. Může dojít i k tomu, že při synchronizaci se uplatňují synchronizátory dva, pak se dá předpokládat existence dvou oscilátorů, z nichž jeden je řízen jedním a druhý jiným synchronizátorem a výsledný efekt je dán interakcí obou regulovaných pochodů. Jako příklad nám může sloužit rytmicita líhnutí mušky *Drosophila pseudoobscura*, která je synchronizována jednak světlem, jednak teplotou. Obdobně je dvěma synchronizátory řízena cirkadiální rytmicita pohybové aktivity, zajímavé ovšem je, že oba se týkají světla. Jeden oscilátor totiž se zdá reagovat na rozsvícení a druhý na zhasnutí (resp. na východ a na západ slunce). Rozdíl mezi endogenními a exogenními biorytmy je v úloze synchronizátorů. U endogenních nejsou pro jejich existenci nezbytné, i když se mohou v jejich regulaci uplatňovat. Endogenní biorytmus však přetrvává, i když je např. trvalé osvětlení (LL) či naopak při trvalé tmě (DD). Poněkud krutými pokusy to dokázali např. WILSON a sp. (1976), SWAN a sp. (1978) či TAKAHASHI a sp. (1979) u potkanů chirurgicky oslepených ať již v dospělosti či těsně po narození. O tom, jak se uplatňují různé synchronizátory v regulaci biorytmů existuje řada teorií. Většina z nich se však shoduje na tom, že v organismu existuje více oscilátorů, které mohou být kontrolovány i více synchronizátory. Mezi jednotlivými oscilátory musí podle SOLLBERGERA (1965) existovat interakce, která se projeví v

určitém stabilizovaném stavu (stady state). Pro 24ti hodinové rytmy podal vysvětlení zejména HALBERG (1960). Ten také diferencuje několik vývojově odlišných úrovní této regulace - viz obr. č. 45.

4.7.2. Vnitřní regulace biorytmů Endogenní rytmy, např. cirkadiánní, jsou vyvolávány a udržovány informacemi z řídicího střediska v organismu. ME-NAKER a sp. (1978) se pokusil shrnout dosavadní nálezy o tom, kde je toto středisko lokalizováno. Protože pro vznik a navo- zování cirkadiánních biorytmů je rozhodující světlo, předpok- ládá se, že toto řídicí středisko je v návaznosti na zrakové smyslové orgány či analyzátory v mozku (u hmyzu či mlžů). U vyšších obratlovců je tímto střediskem epifýza (pineální orgán) jako součást retinohypotalamického systému organismu. Pozornost badatelů v oblasti chronobiologie v posledních letech vzbuzuje právě **pineální orgán**, lokalizovaný u vyšších obratlovců mezi oběma mozkovými hemisférami. Tento orgán pro- dukuje hormon **melatonin** (vzniká ze serotoninu), přičemž veli- kost jeho produkce se v průběhu 24-ti hodin liší podle typu aktivity zvířat. Proto je nejvyšší v průběhu denní části 24-ti hod. cyklu u druhů s denní aktivitou, zatím co u druhů s večerní či noční aktivitou v tomto období. Pineální orgán je u ptáků i savců považován za centrum cirkadiánní rytmicity, které je nadřizeno řadě dalších osci- látůrů v organismu. Svoji funkci vykonává tak, že přijímá a zpracovává informace - zejména světelné - z prostředí a vliv na jiné oscilátory organismu vykonává prostřednictvím melatoninu. Ten zasahuje i do řady dalších funkcí organismu, včetně sexuálních cyklů či thermoregulace. Nezávisle na lokalizaci řídicího střediska biorytmů však vzniká otázka, jakým mechanismem vlastní regulace biorytmů probíhá. Naše dosavadní znalosti v tomto směru jsou doposud neúplné, přesto však vzniklo již několik modelů, které se po- koušejí tento mechanismus popsat. V základě je možné tyto te- orie rozdělit (viz BERGER 1980) do dvou základních koncepcí:

a) Molekulárně genetický model předpokládá (EHERT a TRUCCO 1967), že biorytmy jsou regulovány informacemi fixovanými v DNA. Základní jednotkou je **chronon**, který obsahuje program jedné periody biorytmu - viz obr. č. 46.

Úloha synchronizátorů je podle této teorie, předpokláda- jící zakódování biorytmů v genetickém aparátu buněk, v přímém či nepřímém působení na transkripci chrononu. Velice zajímavé jsou některé experimentální nálezy, kte- ré podporují tuto představu. U uměle získaných mutantů - např. *Drosophila melanogaster* či *D. pseudoobscura* - byla zjištěna změna endogenního cirkadiánního rytmu (BRUCE 1976). U geneticky obézních potkanů byly zjištěny geneticky podmíně- né rozdíly v hladině různých hormonů (MARTIN a sp. 1978), ge- neticky podmíněné rozdíly v rytmu pohybové aktivity byly pro- kázány u dvou inbredních linií myší (EBIHARA a sp. 1978). Řada experimentálních nálezů tedy podporuje představu, že genetický faktor se uplatňuje v mechanismu vzniku a udržo- vání biorytmů. Je však třeba říci, že některé experimentální nálezy přinejmenším svědčí proti tomu, že by se vždy uplatni- la transkripce chrononů. Tak např. i po podání inhibitoru transkripce mimojaderné DNA (fampicinu) MERHENHAGEN a SCHWEIGER (1975) zjistili nepo- rušený cirkadiánní rytmus fotosyntetické aktivity, totéž uve- dení autoři, ale i Van Den DRIESCHE (1966) prokázali pro ak- tinomycin. K poškození biorytmů dochází tehdy, když narušíme normální podmínky pro metabolismus buňky puromycinem či cyk- loheximidem (např. KARAKASHIAN a HASTINGS 1963, MERGENHAGEN 1967). Genetická informace je tedy pravděpodobně nezbytná pro- to, aby se biorytmy projevíly, jejich průběh může však být i bez přívodu informací z genomu po nějakou dobu zajištěn a to za předpokladu normálního průběhu metabolismu. Pokud to- mu tak není, biorytmy jsou poškozeny. Některé organismy pak jsou schopny průběh biorytmů určovat i jinými strukturami, než genetickými informacemi.

b) Membránový model NJUS a sp. (1974) předpokládají, že biorytmy jsou půso- beny rytmickými změnami vlastností permeability membrán. U- platňovat se přitom mají změny koncentrace iontů (zejména ká- lia), při čemž na transport iontů působí vliv světla. Přímo v membránách jsou přitom přítomny fotosenzitivní struktury, vliv mohou mít i hormony, citlivé na světlo. Oběma mechanismy by měla být ovlivněna propustnost membrán. Podle FELDMANA (1975) by se přitom měla podílet i foto- aktivace fosfodiesterázy c-AMP. Pro tuto představu svědčí mj. rytmické změny struktury membrán (HERMAN a SWEENEY 1975) a také cirkadiánní rytmy obsahu mastných kyselin v membra- nách. Látky schopné měnit vlastnosti membrán - např. etanol - působí také změny rytmů (NJUS a sp. 1974,

RICHTER 1977). Byla popsána cirkadiánní rytmicita různých vlastností membrán (SWEENE a PREZELIN 1978).

c) Smíšené modely SCHWEIGER (1978) uvádí schema membránového modelu, jak je vidět na obr. č. 47. Podle jeho představy jsou metabolické změny spojeny se změnami funkčního stavu membrán a to tak, že začlenění proteinu do membrány omezuje zpětnovazebně rychlost jeho syntézy, transportu či dalšího začlenění do membrány. Syntéza těchto esenciálních polypeptidů probíhá podle uvedeného autora na ribozómech 80S. Kontrolou syntézy těchto polypeptidů resp. ovlivněním jejich transportu z místa vzniku do místa účinku v membráně pak jsou regulovány různé biorytmy.

Představa, že syntéza esenciálních polypeptidů probíhá na ribozómech 80S, souhlasí s výsledky pokusů, ve kterých byly cirkadiánní rytmy fotosyntetických pochodů inhibovány např. cykloheximidem (KARAKASHIAN a HASTINGS 1963). V určitých denních obdobích jsou však buňky na působení cykloheximidu necitlivé, takže se dá předpokládat, že esenciální polypeptidy jsou syntetizovány naopak pouze v obdobích zvýšené buněčné citlivosti na cykloheximid. SCHWEIGER a SCHWEIGER (1977) se domnívají, že genetické změny esenciálního polypeptidu mohou působit změnu biorytmů. BURGOYNE (1978) naproti tomu předpokládá, že regulace biorytmů se účastní stejnou měrou genetická složka a membrány. Tento autor na jedné straně ve shodě s teorií EHRETA a TRUCCA (1967) předpokládá účast genomu, na druhé straně předpokládá účast iontů při kontrole biorytmů, avšak nikoliv na úrovni membrány, ale při přepisu genetické informace. Délka periody cirkadiánního rytmu je podle BURGOYNEHO (1978) dána poločasem membránového proteinu a dobou jeho syntézy, transportu a začlenění do membrány. Vztah mezi koncentrací iontů a přepisem mRNA byl již experimentálně prověřen, např. při translaci mRNA u kuřecího embrya (SHINOHARA a PIATIGORSKY 1977).

5. BIOLOGICKÉ HODINY A ORIENTACE ŽIVOČICHŮ

5.1. Biologické hodiny Živé organismy - ať již rostliny či živočichové - se vyznačují smyslem pro čas, což zahrnuje jak schopnost měřit časové intervaly, tak i schopnost orientovat se v místním či univerzálním čase. To předpokládá, že organismus buď umí využívat nějakou vnější časomíru, např. Slunce, nebo přítomnost biologických (endogenních) hodin, lokalizovaných přímo v organismu. Postupně byly nashromážděny doklady o obou těchto schopnostech organismů, které živočichům umožňují, jako výsledek dlouhého vývoje, i orientaci a navigaci v prostoru. Biologické hodiny jsou pro organismy důležité, protože umožňují jejich optimální reakci na oscilace vnějšího prostředí. Pro rostliny je důležité umět se orientovat, kdy je nejvhodnější doba pro růst či pro květy, obdobně je třeba pro různé bezobratlé poznat nejvhodnější dobu pro různá stadia své metamorfózy. Správnou dobu pro své rozmnožování potřebují znát ryby, ptáci i savci. Také shánění potravy, která je přístupná v určitou dobu dne, vyžaduje schopnost orientovat se v čase. I pro migraci a s tím spojenou nutnost navigace potřebují ptáci mít nejen schopnost využívat vnější hodiny, ale i smysl pro čas; to je však již značně složitý problém, který bude podrobněji rozebrán v dalších částech skript. Je otázkou, jaká součást organismu funkci endogenních hodin zastává. Aby mohla tuto funkci zastávat, je nutné, aby sama oscillovala, takže může být i součástí systému zpětné kontroly v organismu, tj. jedním ze servomechanismů, které umožňují vyrovnávání se s rytmicky se měnícími externími podmínkami. Tento oscilující systém musí zahrnovat speciální receptory, integrující část a konečně i součást informující organismus. Nevíme doposud přesně, kde je takový systém lokalizován, můžeme pouze předpokládat, že jeho důležitou součástí jsou endokrinní resp. neuroendokrinní řídicí orgány. Jako z vnějšího prostředí přicházejí informace se uplatňují především světlo a teplota. Již z prvních studií o rytmech se ukázalo, že organismus nemá pouze jeden oscilační systém, že jich může mít a většinou také má více, při čemž jejich frekvence se může lišit v jednotlivých orgánech. Skutečnost, že endogenními hodinami jsou vybaveny organismy o různém stupni a složitosti organizace, znamená, že jejich lokalizace musí být na nějaké základní úrovni, společné od prvoků až po savce. Vývoj a postupující vyšší úroveň integrace organismu znamená pouze,

že se zkvalitňuje regulace i biorytmů. Jednodušším úkolem pro biologické hodiny je měření délky trvání určitého časového úseku. Týká se to např. určení délky dne, resp. délky jeho světelné části. Tento údaj je důležitý jak pro rostliny (doba pro rozkvetnutí), tak živočichy (hníz- dění resp. rozmnožování, stejně jako začátek určité fáze me- tamorfózy). Schema biologické odpovědi na měnící se délku světelné části dne ukazuje obr. č. 48.

Je nutné předpokládat, že organismus má takových "časo- vačů" více, aby byl schopen případně diferencovat pro různé fáze svých biologických pochodů. Různé systémy je také např. třeba předpokládat pro odlišení jarního a podzimního období, vyznačujícího se stejnou délkou světleného období - pak je nutné postihnout tendenci, zda se toto období dále prodlužuje či naopak zkracuje. Jiným úkolem je určit čas v průběhu dne. Různí živo- čichové jsou schopni naučit se přicházet pro potravu v urči- tou dobu dne, od bezobratlých (včely, švábi atd.) až po vyšší obratlovce (kočky, psi či krávy). Známa je i schopnost vzbou- zet se bez pomoci exogenních hodin v určitou dobu dne a to s přesností na minuty. V době, kdy BÜNNING (1936) předložil svou hypotézu, že rostliny a pravděpodobně i živočichové mají endogenní cirka- diánní rytmy a užívají je ke měření času, se zdála být tato myšlenka natolik bizarní, že byla všeobecně odmítána. Řada dalších pozorování však postupně přidávala další a další ka- mínky do mozaiky, která svědčila pro to, že BÜNNINGOVA předs- tava je v podstatě správná. Původní absurdnost představy o vnitřních hodinách organismů, podávajících mu informaci o čase definitivně narušily objevy týkající se orientace resp. navigace živočichů, zejména FRISCHE u včel (1950) a KRAMERA u ptáků (1953). PITTENDRIGH dále studoval a zobecňoval KRAMEROVY nálezy o biologických hodinách jako základním kamenu jejich naviga- ce. Vycházel přitom z hypotézy, že vývojovým základem těchto vnitřních hodin jsou cirkadiánní oscilace, které by ovšem, aby mohly plnit svoji funkci, musily být nezávislé na teplotě. Tuto hypotézu PITTENDRIGH (1954, 1965) na Drosophilách skutečně potvrdil. Jako ukazatel rytmicity použil PITTENDRIGH dobu líhnutí dospělých much ze stadia pupy a tento ukazatel byl stejný, ať byly mušky chovány v 10^o či 25^oC. Tento nálezy byl nesporně velmi důležitý, protože pokud rytmy mají být prostředkem ke měření času, je nezávislost to- hoto měření na teplotě nezbytná. Vždyť k jakému užitku by by- ly organismu takové "hodinky", které by se výrazně zpožďovaly či předcházely podle toho, jaká by zrovna byla teplota? Dá se tedy udělat závěr, že podkladem vnitřních hodin v organismu jsou cirkadiánní biorytmy probíhající v organis- mu, které umožňují jak určovat délku určitého časového obdo- bí, tak i čas v průběhu dne. Sepjetí těchto dvou aspektů ur- čování času není jasné a zdá se být odlišné u různých druhů organismů (SOLLBERGER 1965), největší se zdá být u rostlin, zatímco prakticky chybí u ptáků. Při vzniku a udržování biologických hodin se především dlouhodobě uplatňuje světlo (fotoperiodismus), je však nutné si uvědomit, že i citlivost na tento podnět se aktuálně v průběhu 24 hodin mění, stejně jako na podněty další, např. teplotu, farmaka, bolest a pod. U živočichů byl smysl pro čas pozorován u řady druhů. Klasické studie byly udělány u včel (BELING 1929, GRABENSBER- GER 1934, RENNER 1956 atd.). Když se včely naučí na podání potravy v určitou dobu dne, pak se navracejí v tuto dobu kaž- dý den. Obdobně, jako kdysi LINNÉ "sestrojil" své květinové hodiny, je možné udělat obdobné ptačí hodiny, podle doby, kdy se jednotlivé druhy ptáků probouzí a začíná se ozývat (CLAU- SER 1954). Smysl pro čas byl studován také u člověka. U jednotli- vých osob byla zjištěna tato schopnost v odlišné míře, ať již jde o schopnost určit délku určitého časového intervalu či o určení období v průběhu dne. Mezi jiným byl tento problém studován po déletrvajících izolaci, trvajících několik týdnů (AS- CHOFF 1965). V jeho sledování na 26 dobrovolnících - včetně jeho samotného - bylo zjištěno, že za podmínek regulovaného osvět- lení bylo u většiny sledovaných osob dosaženo prodloužení pů- vodní 24ti hodinové periody, přičemž některé z objektů byly schopny tyto periody měnit. Jak ukázaly některé novější výz- kumy, nezdá se však být u člověka samotný cyklus světla a tmy nejsilnějším časovačem, vliv tohoto vlivu byl zesilován zvu- kovými signály (jako sociální kontakty se světem?!) - viz FI- GALA 1980. pravděpodobně, že s civilizací, tak jako řadu svých pů- vodních schopností, ztratil současný člověk i schopnost přes- né reflexe rytmicity externích podmínek. Je to pochopitelné, již z toho důvodu, že místo přírodního časovače se u něj u- platňuje umělý časovač, přesně 24ti hodinový, tak jak ho rep- rezentují moderní hodinky. Daleko méně než původně je také člověk závislý na přírodních rytmech osvětlení či teploty, ať již se týkají cirkadiánních či sezónních cyklů. Když je sledován smysl pro čas resp. biologické hodiny u různých živočichů, jde v naprosté většině případů o

cirka- diánní periodicitu, i když pochopitelně nechybí ani doklady o jiných cyklech, jako jsou např. lunární či roční (resp. se- zónní), dokladů o těchto periodicitách a jejich měření je však podstatně méně.

5.2. Orientace živočichů v prostoru

S pomocí smyslu pro čas jsou živočichové schopni využít rytmicitu vnějších vlivů pro orientaci v prostoru, stejně jako užívají chronometru navigátoři (tj. potřebují znát čas, aby mohli interpretovat polohu vzhledem k určitým nebeským tělesům). Živočichové i člověk musí být schopni se navracet na určitá místa, někdy dokonce se "navrátit" na místa, na kterých ve svém životě nikdy nebyli. To je případ mladých ptáků či ryb, kteří se dostanou do místa rozmnožování či zimního (resp. letního) hnízdiště bez pomoci starých jedinců, kteří již tato místa alespoň jednou či opakovaně navštívili (tito starší jedinci však se přemisťují do zimovišť většinou dřívě!). Tohoto cíle může být dosaženo trojím způsobem: -

nahodilým pohybem - taxí - orientací či navigací

5.2.1. Možnosti vyhledávání správného směru

Postupně si probereme uvedené tři způsoby, první dva pouze orientačně, zatím co třetí (a to odděleně orientaci a navigaci) o něco podrobněji, širěji pak je tato problematika probrána v další části skript.

5.2.1.1. Nahodilý pohyb V malém prostoru živočich dřívě či později najde správný směr a dostane se tak do vytčeného prostoru (viz experimenty s bludištěm, metoda postupného vyhledávání, vylučovací metoda atd.). Nahodilý pohyb se může zčásti uplatňovat i při orientaci a navigaci a to v začátečních fázích odletu.

5.2.1.2. Taxe Může se uplatnit, pokud je cíl pozorovatelný jakýmkoliv smyslem, tj. zrakem, sluchem či čichem. Buď je taxe pozitivní, tj. organismus směřuje za určitým vlivem (např. fototaxe u rostlin atd.) či je negativní, tj. organismus směřuje od tohoto vlivu. Hlavní druhy taxe jsou: - **fototaxe** - viz rostliny ale také třeba hmyz - užívá vzdálenějšího zdroje světla tak, aby stále směřoval ze stejné strany, resp. svíral stejný úhel (jako azimut u kompasu!) - **chemotaxe** - uplatňuje se zejména u prvoků a u hmyzu (např.

můry dokáží lokalizovat o v neuvěřitelné dálce), u ryb rovněž je možné uplatnění vůně či zápachu ve vodním prostředí - **hmatová taxie** - může se uplatnit např. dotykový vliv větru či proudění, zejm. u vodních živočichů a u ptáků (při déletr- vajících letech do zimních stanovišť zdá se ale, že se hmatová taxie neuplatňuje - **geotaxie** (gravitační taxie) - může být pozorována u živočichů pohybujících se ve vertikálním směru - např. u vodních či podzemních živočichů (červi, krtek). Vhodně se může doplňovat s fototaxí, která se uplatňuje při pohybu nahoru a geotaxie naopak při pohybu dolů

5.2.1.3 Orientace Orientací nazýváme určení polohy a správného směru pro kratší vzdálenosti. Pokud cíl není viditelný, musíme znát směr, kterým se máme pohybovat, dokud cíl či jiné zřetelné označení neuvidíme či jinak nebudeme vnímat. K tomu potřebujeme mít **referenční bod**. Pak je zapotřebí stanovit úhel mezi směrem k tomuto referenčnímu bodu a mezi cílem. Názorně viz obr. č. 49, kde v levém rohu je stanoviště současné a úhel mezi referenčním bodem na pravé straně obrázku a mezi cílem v dolní části obrázku. Jako referenční bod pro orientaci může sloužit jakýkoliv terénní útvar, měl by ale být dostatečně daleko. Jako dobrý referenční bod se uplatňuje magnetický pól (užíváme u kompasu), obdobně např. Polárka. Jako referenční bod je také často užíváno Slunce.

Přesto, že je dostatečně daleko, mění se jeho poloha na obloze v průběhu dne a ke korekci tohoto pohybu je třeba znát přesný čas. Je možno zaznamenat polohu Slunce na horizontu a úhel, který svírá se severem (azimut). Polohu Slunce můžeme odečíst buď přímo, či v případě, že není viditelné, z jeho světelného odrazu. Pokud živočich žije ve vodě, musí navíc korigovat pozorovaný směr dopadu slunečního světla na lom světla na rozhraní vzduchu a vodního prostředí. Korekce na pohyb Slunce může být udělána s pomocí časomíry ať již umělé (naše hodinky) či biologických hodin. Je možné také pozorovat několik ukazatelů slunečního pohybu a tím ho korigovat: - přímo směr, kterým je viditelné slunce - azimut, tj. horizontální směr ke slunci - směr slunečního pohybu (odkud - kam!) - rychlost slunečního pohybu - změna rychlosti v azimutovém úhlu - výška slunce - maximální výška (mění se v průběhu sezóny a se zeměpisnou šířkou) - změna ve výšce slunce - polarizace světla (když Slunce není vidět). Většina živočichů je schopna používat k orientaci horizontální směr ke slunci, někteří však navíc i např. výšky slunce a pravděpodobně i polarizace světla.

5.2.1.4 Navigace Navigace představuje složitější způsob nalézání správného směru, potřebný při větších vzdálenostech. Musí být konstruován koordinátový systém, ve kterém jsou určeny jednak poloha "navigátora", jednak poloha cíle. Tyto koordináty pomáhají stanovit např. směr střílky kompasu, směr pohybu slunce či postavení hvězd. Stanovení polohy v uvedeném systému vyžaduje pozorování nebeských těles se současným přesným stanovením času. Lidé určovali několik století zeměpisnou polohu z výšky Polárky nad horizontem a z rozdílu místního času (rozdíl postavení hvězd či slunce) od času na Greenwichském poledníku (to vyžaduje přesný chrometr). V současné době se užívají modernější způsoby využívající gyroskopy a elektronické integrační systémy. Pokud živočichové překonávají větší vzdálenosti a správně dorazí do cíle, je u nich nutné předpokládat obdobné mechanismy využívající rytmů (zejména cirkadiálních) ke měření času. Této problematice je věnována následující kapitola.

5.2.2. Orientace a navigace u živočichů

Většina živočichů má přesnější orientační smysl, než máme my lidé. Tento smysl může být zděděný či naučený. Někteří ptáci a ryby každý rok migrují od jednoho světadílu k druhému, i když cílový prostor jednotliví živočichové nikdy neviděli. Holubi jsou používáni jako nosiči zpráv vzhledem ke svému vyvinutému smyslu vrátit se do svého domova. Včely se bezpečně vrací do svých úlů a před odletem si dokonce domlouvají směr a vzdálenost letu složitými tanci.

5.2.2.1. Historie výzkumu orientace a navigace u živočichů Dříve, než si podrobněji uvedeme způsoby orientace resp. navigace u bezobratlých resp. u obratlovců, zaslouží si rozsáhlejší popis výsledky dvou autorů, kteří koncem 40. let výrazně posunuli naše znalosti dopředu. Jde o FRISCHE (1950) a KRAMERA (1953) - viz WARD (1980). Na dvou zcela odlišných modelech - FRISCH u včel a KRAMER u špačků - zcela nezávisle na sobě (o výsledcích se jeden o druhém dozvěděli až z publikací!) prokázali schopnost zvířat orientovat se v prostoru a to s využitím endogenních hodin. Tím také definitivně potvrdili jejich existenci, předpokládaných již od r. 1936 BUNNINGEM a velice pomalu a neochotně přijímaných dalšími badateli. Nejprve tedy o FRISCHOVI, který studiu života včel věnoval více než 50 let svého života. Mezi jiným také v začátcích své vědecké dráhy přesvědčivě prokázal, že

jsou schopny rozlišovat různé barvy i jejich odstíny. Spolu se svojí spolupracovnicí BELINDOVOU analyzoval i stará pozorování ze začátku tohoto století o tom, že včely se dají navyknout na určitou dobu na potravu (FOREL, BUTTEL - REEPEN). BELINDOVÁ v r. 1927 napřed potvrdila, že trénované včely skutečně navštěvují pokusná pracoviště v určenou dobu a to i v případě, že potrava připravena není. Navíc však ve spolupráci s FRISCHEM zjistila, že včely se chovají stejně i za konstantního světla, teploty, vlhkosti i náboje ovzduší. Tyto faktory bylo tedy možné vyloučit jako důvody přesného smyslu pro čas, se kterým včely přilétaly pro potravu. WAHL, jiný ze spolupracovníků FRISCHE, navíc vyloučil vliv variací v kosmickém záření (své pokusy dělal v hloubce 183 m v solném dole, viz WAHL 1932). Bylo tedy otázkou, co je tím faktorem, který napomáhá včelám orientovat se přesně v čase, zodpovědět tuto otázku se však již ve 30. letech BELINDOVÉ nepodařilo. V jejích pokusech pokračoval FRISCH sám, se svými novými spolupracovnicemi. Chtěl rozhodnout základní problém, zda jsou včely "hodiny" skutečně endogenní či zda jsou ovládány nějakým vnějším faktorem. Díky pokusu, který k řešení této otázky provedl, však zároveň odpověděl na otázku, jakým způsobem se včely orientují při svých cestách za potravou. Tento badatel tak rozřešil dlouholetý problém, jak včely dokáží létat ke zdroji nektaru a zpátky do úlů. Dokázal, že včely dodržují své letové linky pomocí orientace podle Slunce, přičemž korigují odchylky dané zdánlivým pohybem Slunce po obloze v průběhu dne. Prokázal přitom rovněž, že včely jsou schopny vzájemné komunikace - včela, která našla vhodnou skupinu květů, to může druhým včelám oznámit pomocí zvláštního tanečku. Na svislé straně uvnitř úlu začne opisovat malý kruh - tento kruh čas od času přerušuje a zavrtí se ve směru průměru kruhu. Úhel průměru kruhu se svislicí udává ostatním včelám, jakým směrem je třeba letět (obr. č. 50).

Svislice je polohou slunečního azimutu, takže průměr kruhu ukazuje úhel, který má svírat dráha letu s polohou slunce. Druhé včely si tedy musí vštípit do paměti geometrii tance. Úhel mezi včelí letovou linkou a směrem ke slunci se pochopitelně mění v průběhu dne a proto tančící včela zmenšuje postupně úhel, když je ráno a zvětšuje, když je odpoledne - a pak mohou i druhé včely letět ve správném směru. Tak FRISCH objevil **sluneční kompasový smysl** u včel. FRISCH udělal svůj objev díky pokusu, který se mu dlouho nechtělo dělat a který řadu let odkládal. FRISCH předpokládal, že nějaký vnější faktor - nejspíše nějaké záření - řídí vnitřní hodiny včel. Tuto hypotézu chtěl objasnit originálním pokusem. V Německu nacvičil včely na hledání potravy v určitou dobu dne a pak je spolu se svou diplomantkou naložil na transoceánskou loď, která plula do Ameriky. Proč na loď - šlo o dobu těsně před II. světovou válkou a doprava lodí byla v té době v podstatě jedinou možností cesty z Evropy do Ameriky. Pokus dopadl tragikomicky - studentka dostala brzy po vyplutí z přístavu mořskou nemoc a nebyla schopna vůbec zvažovat, zda se včely řídí stále německým časem (což by byla podpora pro samostatnost vnitřních hodin) či zda se postupně přizpůsobují podle časových zón, kterými loď proplouvá (což by byla podpora představy o vnějším vlivu). Pak přišla druhá světová válka a FRISCHŮV projekt byl pochopitelně odložen na řadu let. Když se pak FRISCH ke svému přemísťovacímu pokusu vrátil, bylo jeho uspořádání poněkud odlišné. Nejprve začal na jednom místě s trénováním včel, které navykl na krmítka umístěná na západ od úlu. Pak přemístil včely na místo vzdálené asi 5 km, kdy včely nikdy nebyly a 4 krmítka umístil na 4 světových stranách (viz obr. č. 51), u kterých počítali pozorovatelé přilétající včely - mimochodem je hned při tomto počítání také vychytávali, aby tyto včely nemohly naučit správnému směru další včely. Pokus dopadl jednoznačně - naprostá většina včel letěla správně západním směrem, i když bylo ráno a trénovány byly odpoledne. Znamenalo to tedy, že všechny se řídily podle Slunce a přitom musely korigovat pohyb Slunce po obloze. V dalším pokuse to neúnavný badatel FRISCH včelám ještě výrazně ztěžil. Nejdříve učil včely a to pouze 4 hodiny (!) na nalezení krmítka na severozápadě a pak je převezl do zcela odlišné krajiny. Zde umístil krmítka na 4 stranách včetně severozápadní a ještě jim česlo úlu (místo kudy z úlu vylétaly) obrátil o 90°. Pochopitelně opět měly potravu najít ve zcela jinou denní dobu - místo odpoledne ráno. Přesto za takto zásadně změněných podmínek většina včel správné místo našla (viz obr. č. 52). Tím bylo prokázáno, že se včely skutečně řídí slunečním kompasem a že přitom korigují vliv denní doby resp. vlivu zdánlivého pohybu slunce po obloze. Stále však nebylo jasné, zda jsou včelí hodiny zcela vnitřní či zda přijímají podněty ze vnějšku. Pečlivými pokusy FRISCH již dříve vyloučil různé vnější podněty, včetně atmosférické elektřiny a kosmických paprsků. Co však jsou ty vnitřní rytmy, které by mohly být podkladem vnitřních hodin

včely? Předně se nabízela možnost, že jde o rytmus hladu, po řadě pokusů byl však tento faktor také vyloučen. Pak se FRISCH opět vrátil k pokusu s přemístěním včel z Německa do Ameriky. Při své nové cestě do USA koncem 40tých let použil FRISCH letadla. To bylo v této době již běžným a daleko rychlejším dopravním prostředkem než cesta lodí. Nejvýhodnější letecké spojení do Ameriky té doby vedlo z Francie, šlo o linku Paříž - New York, čemuž se celý pokus přizpůsobil. Celý pokus si vzal na starost Max RENNER, FRISCHŮV spo- lupracovník a pomoc nabídl jak v Paříži, tak v New Yorku. Nejprve byly vyrobeny dvě identické komory, vyrobené v Němecu- ku, které byly skládací, aby mohly být dopraveny jednak do Paříže, jednak do New Yorku. Vybavení těchto komor vidíte na obr. č. 53.

Komora byla poměrně velká - měla cca 4,5 m délky, 2,5 m šířky a 2,75 m výšky. Nejprve začal RENNER trénovat včely v Paříži. Skupina 40 včel se přitom měla naučit přijímat potravu mezi 8.15 - 10.15 hod. francouzského času. Po několika dnech to včely uměly a RENNER letěl s nimi do New Yorku. Za méně než 24 hodin byly už včely v identické komoře v New Yorku a byla otázka, kdy vyletí za potravou - zda bez ohledu na přemístění přesně za 24 hodin či zda bude 5ti hodinový posun? Výsledek pokusu byl jasný - přesně za 24 hodin po příje- tí potraviny v Paříži vylezly první včely z úlu a hrnuly se ke krmítku. Přesně stejně dopadl i pokus obrácený - kdy trénink probíhal v New Yorku a test v Paříži. Tak tedy bylo jednoz- načně potvrzeno, že včely dodržovaly svůj rytmus nezávisle na vnějších vlivech, mají tedy své vnitřní hodiny ovládané pouze jejich organismem. A nyní podrobněji o výsledcích

KRAMEROVÝCH. Co o něm ví- me? Narodil se v r. 1910 a po II. světové válce začal předná- šet v Heidelbergu a zde se také začal zabývat otázkou ptačí orientace za letu - postupně vybudoval celou školu pro studi- um orientace, která sdružovala pracovníky z Evropy i ze Spo- jených států. Svá pozorování tahu různých ptáků prováděl na březích Severního moře, mezi jiným pozoroval také lety arktických rybáků (mořských vlaštovek). Trasu jejich sezónního putování zachycuje následující obr. č. 54. Ukazuje, že rybáci jsou přímo neuvěřitelnými letci - z letních hnízdišť daleko na se- veru pouze několik set mil od severního pólu létají přes Ka- nadu, napříč Atlantikem až na zimní stanoviště v Jižní Africe u Port Elizabeth.

Migrace, jak je KRAMER pozoroval a kontrolovaně zkoušel, jsou tedy zacíleny na přestěhování do zcela určitých, poměrně malých oblastí, vzdálených tisíce kilometrů. Takovýto přesný let už nutně předpokládá určitý naváděcí systém, obdobný např. tomu, jak torpédo hledá svůj cíl. Proto badatelé před- pokládají, že živočichové mají podobný servomechanismus, ori- entující se směrem k žádaným cílům. Takovýto servomechanismus však nemůže fungovat bez trvalého toku informací z vnějšího světa. Zatím ponechme stranou problém, jak dostávají např. taž- ní ptáci tyto informace a soustřed' me se na otázky, jejichž zodpovězení tyto informace mají řešit: - kde pták je a v jakém směru má odstartovat - jaký směr má dodržovat za letu, případně jak ho měnit, aby se cíle dosáhlo - jak pozná, že už cíle dosáhl A nyní k tomu, jakými cestami se může pták orientovat, jak si zodpovídá na tyto tři základní otázky. Teoreticky bylo několik možností, které také byly postupně vylučovány: - podle vlnových délek **tepelného záření** charakteristicky od- lišných (na pólu větší vlnové délky a malá intenzita, na rov- níku kratší vlnové délky a velká intenzita) ALE: záření se šířilo přímo a nesleduje zemské zakřivení - ve vzdálenosti pouhých 160 km by mohlo působit až v bodu vysoko nad letovou drahou ptáků, většími krajinými útvary (jako jsou lesy, jezera, pouště ale také velkoměsta) jsou také tepelná záření silně zakřívována - a nakonec - nikomu se nepodařilo prokázat, že by ptáci byli vůbec schopni vnímat rozdíly v te- pelném záření - změny **magnetického pole**: kdyby pták byl schopen vnímat roz- díly síly magnetického pole, mohl by z toho odvozovat země- pisanou šířku své polohy ALE: ptáci nevykazují žádnou reakci na magnetické pole i o síle podstatně větší, než je magnetické pole Země - **zemská rotace** - projevující se jako rozdíl v působení mechanického tlaku na křídla, směr letu by mohl být vnímán podle toho, jak se mění skutečná rychlost při letu na západ či na východ ALE: husy s přistříženými křídly šly (!) ve správném směru, kam by vedl jejich migrační let - rovněž ptáci v kleci vníma- jí dobře směr letu Nejslibnější se zdál předpoklad, že ptáci jsou primárně závislí na **jemném zrakovém analyzátoru**. KRAMER použil k ana- lýze toho, jakým způsobem se ptáci orientují, zdánlivě nedů- ležitého jevu, tzv. **tahového neklidu**, kdy ptáci v době podzimu opětovaně vyrážejí jedním směrem, směrem tahu. Ke studiu užil špačka obecného a předně si ověřil, že směr tahového neklidu je skutečně správným směrem podzimního (a obdobně jarního) tahu. KRAMER klece zakrýval postupně do takové výše, že špačci nemohli vidět nic jiné, než nebe. Zkonstruoval kruhové

klece s průhledným dnem, kdy směry tahového neklidu mohl badatel pozorovat a zapisovat a za kontrolovaných podmínek se dal měnit směr světla přicházejícího z nebe a to o 90°. Výsledky pokusů u špačků, kteří jsou vysloveně pouze denními letci, ukázaly jednoznačně, že směr migrace ptáků závisel na poloze slunce - pokud byl směr světla otočen zrcadly o 90°, pak o 90° změnili špačkové směr své migrace a letěli tedy špatným směrem. Když zrcadla byla odstraněna, opět dodržovali správný směr migrace. Obrázek č. 55 nám ukazuje, jak tato kruhová klec vypadala, konstrukce kolem ní umožňovala zakrývání v různých směrech. Dolní část obrázku ukazuje správný směr letu ptáků - severozápadně a změnu při posunutí zrcadla o 90° a tím způsobeném posunu směru letu na jihozápad.

Jako správný vědec však KRAMER o svých výsledcích stále pochyboval a chtěl si je ověřit. Předně si byl vědom toho, že pozoroval ptáky krátkou dobu - pouze asi 1 hodinu - ráno. Proto pokus rozšířil a použil k tomu vtipný způsob, při kterém naučil špačky vyhledávat potravu a tím směřovat vždy určitým směrem. Konkrétně je trénoval ráno a zrní bylo vždy pouze v jednom ze 12 krmítek, které bylo umístěno v kleci na východním směru. Pak byli takto cvičení špačkové vypuštěni ke krmítkům odpoledne. Ráno nalézali potravu východním směrem, tam kde svítlo slunce, byla proto otázka, kde je budou hledat odpoledne - opět tam, kde svítí slunce, tedy na západě? Nikoliv - správně se dali opět východním směrem, i když tentokrát musili nechat slunce za sebou. KRAMER se ani s tímto pokusem nespokojil a udělal ještě brilantnější pokus - natrénoval špačka, aby bez ohledu na čas hledal potravu na západu klece. Pak dal klec do ochranného stanu, aby vyloučil vliv pohybujícího se skutečného slunce a umělé slunce umístil tak, aby svítlo vždy z jednoho místa na západě. Za těchto podmínek hledal špaček potravu ráno ve východním krmítku, v poledne v severním a večer v západním krmítku. Další obrázek (č. 56) nám ukazuje výsledek pokusu, kdy špaček byl naučen létat v jednom směru v určitém směru každého dne, kdy slunce svítlo ve směru bílé šipky, tento směr pak pták dodržoval i v jiných denních odběch, kdy slunce svítlo např. ve směru šipky černé. Obrázek č. 57 ukazuje uspořádání pokusu s fixním sluncem - část A ukazuje uspořádání klece, část B nácvik špačka na to, že nachází potravu vždy v krmítku na západní straně a pak situace, kdy ráno hledal potravu na východě (C), v poledne na severu (D) a večer na západě (E).

Již začátkem 50tých let - prakticky ve stejné době jako FRISCH výsledky u včel - KRAMER zveřejnil výsledky studia ptačí orientace, které ukázaly, že špačkové dokáží určit dobu dne a řídit se při určení správného směru pomocí Slunce. Tito ptáci jsou přitom schopni korekce podle pohybu Slunce po obloze. Dalo by se říci, že špačci mají sluneční kompas, užívají jimi úplně stejně jako lidé užívají kompas magnetický. Aby byl ale člověku něco platný kompas, musí mít také mapu, ale co je takovou mapou pro ptáka? KRAMER začal bádát i na tomto problému, ale bohužel při odchytu ptáků spadl ze skály a zabil se. I když pokud jde o orientaci u ptáků i dalších živočichů byly nashromážděny v dalších letech nové údaje, na otázku, co je "mapou" pro migrující ptáky, doposud nikdo neodpověděl. KRAMEROVY pokusy přesvědčivě ukázaly, že špačkové se při své navigaci řídí Sluncem. Jméno manželů SAUEROVÝCH je spojeno s řešením otázky, podle čeho se orientují ty druhy ptáků, které migrují pouze v noci. Týká se to i pěnic, kterým se SAUEROVI řadu let věnovali z hlediska jiné problematiky (zda se učí ptáci zpívat od starších či tuto schopnost mají vrozenou - odpověď byla jasná - mají ji vrozenou). Ale vraťme se k pokusům s orientací pěnic. Pěnice se na jaře vyskytují v Evropě, vyvádějí zde své mladé a v průběhu měsíce srpna celé populace pěnic táhnou na jih. V období září až října přilétají pěnice ze severních oblastí Evropy, které po několika dnech odlétají dále na jih. Ve dne se pěnice živí a v noci táhnou dále. Drobné pěnice mají zimoviště daleko, letí až do střední a jižní Afriky. Ve svých sledováních SAUEROVI prokázali, že při letu ve dne se pěnice, obdobně jako to prokázal KRAMER pro špačky, řídí podle Slunce (SAUER 1957,58). Při noční cestě do zimovišť se však dokážou orientovat podle hvězd. Jsou přitom rušeny ve své navigaci jasným měsíčním světlem, podobně jako jasnými meteory. Trochu nejisté ze začátku letu jsou pěnice, když je zataženo - pokud je však viditelná alespoň nejjasnější hvězda, začnou zase směřovat správně. Správně ptáci reagují na zcela zataženou oblohu - chvíli poletují ve vzduchu a pak se snesou na strom a jdou spát. Zcela desorientované byly pěnice, když byly umístěny do uzavřené místnosti s difuzním či polarizovaným světlem. SAUEROVI geniálně vyřešili problém, jak experimentálně měnit polohu hvězd, aby tato změna odpovídala jiné zeměpisné šířce či časové zóně: umístili pěnice do planetária a promítali jim různé zóny na nebi a pěnice vždy reagovaly

správně. Následující obr. č. 58 ukazuje, jak vypadá přirozená podzimní migrace (silné černé šipky) pěníce pokřovní a jak vypadá při postupně měněném planetáriovém umělém nebi (slabé šipky). Šrafováním je označena oblast zimovišť v centrální Africe.

"Hvězdou" experimentů se stala jedna pěníce pokřovní, která byla vychována z vajíčka v laboratoři a nikdy nebyla mimo klec, ve volné přírodě. Při umístění v planetáriu však suveréně letěla napřed jihovýchodním a pak jižním směrem, tak jak to bylo potřebné k přemístění do zimoviště v Africe. Jak může pěníce vnímat změnu zeměpisné šířky třeba v símulovaných podmínkách planetária? Dá se předpokládat, že podobně jako člověk, tj. určením úhlové vzdálenosti určité hvězdy, např. Polárky, nad horizontem. Složitější to je pokud jde o určení zeměpisné délky, k tomu je potřebný přesný chrometr. SAUEROVI se domnívali, že k tomu ptáci mohou používat určení rotace souhvězdí kolem Polárky. Pokusy provedené opět v planetáriu pouze naznačily, že by tomu mohlo být tak, ale zcela jasně to také nepotvrdily. Bohužel nikdo, ani SAUEROVI samotní, v uvedených pokusech doposud nepokračoval, aby tak potvrdil či naopak vyloučil tuto možnost.

5.2.2.2. Další příklady orientace a navigace Podrobnějším vylíčením práce FRISCHE, KRAMERA a SAUEROVÝCH jsme nejen učinili zadost povinnosti vzdát úctu těm, kdo si ji zaslouží, ale při probírání jejich pokusů jsme zároveň ukázali i hlavní přístupy a problémy při studiu orientace a navigace. Tito autoři ukázali několik hlavních záměrů, které je možno udělat již nyní, dříve než si probereme výsledky dalších autorů na dalších druzích živočichů, ať již bezobratlých či obratlovců. Jde o následující závěry: - živočichové mají endogenní měřiče času, zejména nařízené na cirkadiánní periodu - uplatňovat se však mohou i periodicity lunární či cirkanuální - tento měřič času je nezbytný k tomu, aby někteří živočichové mohli kompenzovat s časem probíhající pohyb nebeských těles a tím se orientovat v prostoru - v jednodušším případě využívají živočichové pouze úhlu příslušného nebeského tělesa (zejm. Slunce) k horizontu, někteří ale dokáží využívat i jeho výšku nad obzorem či jiné ukazatele - u letů na velmi dlouhé vzdálenosti (obdobně u plaveb ryb, kytovců či ploutvonožců) musíme předpokládat i složitější způsoby orientace, jejichž mechanismy však prozatím vůbec neznáme A nyní podrobněji o dalších nálezech, postupně pokud jde o bezobratlé a obratlovce. Z **bezobratlých** byla kromě včel pozorována schopnost orientace podle Slunce např. u mravenců (BRUN 1958). Orientace jim byla po několik hodin znemožněná umístěním do světelného boxu. Další pokračování cesty se pak lišilo u různých druhů mravenců - zatímco jedinci druhu *Latius niger* nebrali pohyb slunce na vědomí, mravenci druhu *Formica rufa* dodrželi správný směr cesty, což znamená, že pohyb Slunce za uvedenou dobu brali v úvahu. PAPI (1955) studoval jiný druh a to členovce *Arctosa perita*, který žije na březích řek a jezer. Tento živočich, pokud je dán na vodu, směřuje nejkratší cestou zpět ke břehu. Když jej však přeneseme na opačný břeh, směřuje přes vodu k původnímu břehu, jak je dáno úhlem k Slunci. Jiným příkladem je skákající hmyz *Talitrus saltator*, jak ukázali PAPI a spol. (1963, 1968). Tito živočichové žijí na vlhkém písku na pobřeží a pokud jsou přeneseni na suchý písek, chtějí se ihned navrátit na písek u moře. Kolmicí, tj. nejkratší cestou, se navracejí k pobřeží, k čemuž jim pomáhá úhel k pozici Slunce. Zajímavá sledování byla dělána s jedinci *Talitrus*, přenesenými z Itálie do Argentiny. Jejich směr útěku za podmínek přenesení na suchý písek odpovídal vnitřním hodinám nastaveným v Itálii a po přenesení do jiných podmínek byl proto nesprávný. PAPI rovněž zkoumal, jak je schopnost vnitřních hodin a správné orientace v prostoru vázána u jedinců rodu *Talitrus* na teplotu. Jak se dalo očekávat - minimálně, pouze velmi vysoké teploty mohou způsobit mírné zrychlení, zatímco teploty nízké (4-6°C) neměly žádný vliv. Zajímavé nálezy byly udělány se sledováním schopnosti změny vybraného směru ve tmě u vodoměrky *Velia currens*. Tyto studie provedené BIRIUKOWEM (1956) - viz obr. č. 59 - nasvědčují tomu, že ve tmě se mění úhel orientace na opačnou stranu než ve světle. Tento výsledek pochopitelně neznamena zásadně změněný způsob měření času u tohoto druhu, ale spíše přítomnost dvou oscilátorů, zapínaných v různých situacích.

Porovnání jedinců druhu *Arctosa cinerea*, žijících původně v Itálii, nebo ve Finsku za podmínek arktického léta ukázalo, jaký význam má dlouhodobé přizpůsobení se ekologickým podmínkám. Zatímco jedinci z Finska se v těchto podmínkách s dlouhým světelným režimem orientovali dobře, jedinci pocházející z Itálie měli s orientací problémy. KALMUS (1956) a LINDAUER (1957) dále analyzovali dědičně dané rozdílnosti mezi druhy včel severní a jižní polokoule ve využívání slunečního

kompasu - včely žijící v tropických oblastech jsou schopny velice rychle se přizpůsobit změnám lokálního směru pohybu Slunce. Včely jsou však schopné se relativně brzy přizpůsobit i rozdílu 12ti hodin mezi severní a jižní polokoulí - mladé včely k tomu potřebují pouze 8 dnů. Pokusy JANDERA (1957) prokázaly, že mravenci mohou využívat slunečního kompasu k orientaci v určitou roční dobu, zatímco v jinou nikoliv. V létě a na podzim jedinci druhu *Formica rufa* byli schopni po déletrvajícím přerušení pokračovat ve správném směru, zatímco na jaře toho schopni nebyli. Stejně sezónní rozdíly byly nalezeny u brouka *Pedaerus rubrothoracicus* (ERCOLINI a BADINO 1961). Bezobratlí se nemusí orientovat pouze podle Slunce, ale jak ukazují některé pokusy PAPIHO a jeho spolupracovníků (PARDI a PARDI 1963, PARDI a ERCOLINI 1965), i podle Měsíce. Studovaným druhem byl již dříve zmíněný *Talitrus saltator*, který přesně dokázal při určení správného směru kompenzovat pohyb Měsíce po obloze. Tím bylo také prokázáno, že někteří bezobratlí živočichové dokáží využít jako biologické hodiny jiné než Sluncem dané cirkadiální rytmy. U **obratlovců** byla prokázána schopnost využívat Slunce jako kompas u řady živočichů, od ryb přes obojživelníky až k ptákům (např. BRAEMER a SCHWASSMANN 1963 u ryb, BIRJUKOW a sp. 1963 u ještěrek). U ještěrky *Lacerta viridis* byla provedeny pokusy s natrénováním těchto živočichů na určitý úhel vzhledem k umělému slunci. Ve stejnou dobu dne pak byly ještěrky schopné tento směr ke Slunci udržet a směřovat tak určitým směrem. Stejný směr však dodržovaly i v jinou dobu v průběhu dne. Správně si vybrat potřebný úhel byly ještěrky schopné pouze za předpokladu, že byly nacvičovány na různé úhly vzhledem ke Slunci (FISCHER a BIRJUKOW 1960). Podobně byly schopné využívat i umělé slunce jako kompas i některé ryby a to správně i v různých obdobích dne (BRAEMER 1960). U ještěrek byla pozorována schopnost využívat nejen úhlu ke Slunci, ale také rychlosti změny tohoto úhlu v závislosti na délce dne a sezóně roku (FISCHER 1961). Ještěrky byly schopné se v laboratorních podmínkách adaptovat na výšku umělého slunce nad obzorem, jaká je při obdobích s dlouhým dnem. Hodně pokusů bylo provedeno pokud jde o orientaci a navigaci ptáků. Tak HOFFMANN (1954) trénoval špačky na posun směrem ke slunečnímu kompasu o 6 hodin. Natrénování mohli být např. na jihovýchodní směr umístění potravy. Výsledky HOFFMANNOVA pokusu ukazuje obr. č. 60. Horní dvě části obrázku - **a** či **b** - ukazují, jak si špaček nachází potravu ve správném směru v různých obdobích dne (a to i po 28 dnech neustálého světla), dolní dva posun do nesprávného směru umělým sluncem.

Zajímavé jsou rovněž další pokusy stejného autora, tj. HOFFMANNA (1953), opět u špačků. Dva špačci byli nacvičeni na určitý směr ke Slunci nabídkou potravy v tomto směru. Na obr. č. 61 je tento směr označen černou šipkou a jednotlivé body ukazují v části obrázku označené **a** u dvou špačků (**G** a **R**), jak úspěšně tento směr nalézají. Část obrázku označená **b** ukazuje totéž při posunu vnitřních hodin o 6 hodin - bílá šipka označuje předpokládaný správný směr. Řada prací s ptáčí orientací byla udělána také na holubech, jejichž schopnost navracet se i z velkých vzdáleností domů k podobným studiím přímo vybízí (viz zejména SCHMIDT - KOENIG 1958, 1960, 1970). Prokázalo se, že se skutečně řídí slunečním kompasem, problém jejich orientace je však stále v řadě otázek nejasný (viz i GALLER a sp. 1972). Je však nutné si uvědomit, že návrat domů z větších vzdáleností představuje daleko obtížnější úkol, je nutné předpokládat přesnost vnitřních hodin 2 minuty za den (to ale souhlasí se zjištěnými minimálními deviacemi cirkadiálních rytmů!). Poněkud překvapivě se ze všech skupin živočichů ví nejmeně o schopnosti orientace u savců. Snad můžeme vzít v úvahu pozorování, že lepší schopnost orientace než civilizovaný člověk má tzv. divoch, dosud žijící v úzkém kontaktu s přírodou (tato schopnost se dá pochopitelně naučit i u civilizovaného člověka, různá turistická či skautská hnutí jsou toho jasným dokladem). I když snad doposud chybí vědecky podložené experimenty, je ze zkušenosti známo, že například psi, ale i kočky, se dokáží po odvezení z domova vrátit na původní místo vzdálené i desítky kilometrů. Podobnou schopnost orientace musíme předpokládat ale třeba i u divokých prasat, která dokážou většinou v noci (orientace podle Měsíce či hvězd?!) uběhnout desítky kilometrů a vrátit se opět přesně do místa se svými oblíbenými baheništi. Můžeme tedy uzavřít, že všichni živočichové dokáží využívat k orientaci různých nebeských těles, zejména Slunce a zároveň také svých endogenních hodin. Někteří z nich navíc dokážou využívat i jiných ukazatelů, než úhlu, co svírá jejich referenční bod s horizontem. Dlouhé cesty řady ryb a ptáků do míst rozmnožování či do zimovišť však předpokládají i další, dosud nejasné mechanismy.

5.2.3. Orientace v prostoru pomocí sluchu

Závěrem části, pojednávající o orientaci a navigaci ži-vočichů, bychom si měli říci o orientaci pomocí sluchového ústrojí - tato část nemá sice přímo co dělat s biorytmy, ale pro kompletaci informací o orientaci u zvířat je důležitá. S rytmickými ději má to společného, že základem orientace jsou rytmické zvuky živočichy vydávané. Sluch je u zvířat vývojově mnohem mladším orgánem, než jsou zrakové receptory nebo orgán rovnováhy. Postupně však dostal tento analyzátor i další funkci a to využití při orientaci v prostoru (echolokace). Tak např. tropické vlašťovky - salangany. Jejich hnízda se stala jednou z největších pochoutek pro asijské labužníky. Proto salangany ustupují před lidmi stále hlouběji do jeskyň a pro orientaci v jejich tmavých prostorách se u nich vyvinula schopnost echolokace. Když se cejlonské salangany vrací pod klenby podzemních prostorů, začínají vydávat sérii 5-10 cvakových zvuků za sekundu. Cvaknutí jsou krátká, trvají 2-6 mikrosekund, a člověk je dobře vnímá, protože jsou v pásmu 4-5 kHz. Jávské salangany vydávají lokační cvakot o stejné frekvenci, 5-10 zvuků /sec. ale o menší intenzitě, a používají k tomu nízkofrekvenčních zvuků - do 1,5 kHz. V laboratoři se vědci přesvědčili, že cvakot je skutečně lokační signál. Na světle (tento druh je aktivní ve dne) jej salangany nepotřebují - mají dostatečně ostrý zrak. Jsou-li dočasně zbaveny zraku a sluchu zároveň, jsou salangany naprosto bezradné. Echolokace salangan není zvlášť kvalitní. Létají-li tyto ptáci v místnosti přehrazené trubičkami z plastických hmot o síle 8 milimetrů (nebo kovovými pruty poněkud menšího průměru), narážejí často na překážky. Echolokace je u salangan vrozená schopnost, projevuje se však jen u dospělých jedinců. Dokud jsou ptáčata malá, nejsou schopna cvakot vydávat. Schopností echolokace disponují i jiní ptáci, například kolihy. Když musí letět v mlze, vydávají zvláštní zvuky, které v jiných situacích nikdy neužívají. Předpokládá se, že se rovněž orientují ozvěnou, jež při tom vzniká. A jak je vyvinuta echolokace u savců? Také suchozemští savci se v procesu evoluce postupně zdokonalovali v echolokaci. Největších úspěchů v tom dosáhli netopýři. Echolokátor jim umožňuje výtečně se orientovat v noční tmě, rychle létat bez srážek s překážkami, zjišťovat i drobný hmyz a lapat ho přímo v letu. Dobře jsou echolokací vybaveni savci žijící ve vodě, např. delfini. Dobře jsou echolokací vybaveni savci žijící ve vodě, např. delfini. Podobná situace jako u delfinů je u ploutvonožců. Výborné přizpůsobení na vodu dovoluje ploutvonožcům absolvovat každoročně dlouhé cesty v průběhu roku. Na příklad lachtani medvědí se na jaře objevují u Komandorských ostrovů a na Kurilách a na zimu odplovávají do teplejších vod kolem ostrova Honšú. Hlavním motivem tohoto dlouhého putování je návrat do rodných míst, odedávna sloužících k rozmnožování. Z hlediska echolokace jsou nejlépe prostudováni tradiční chovanci cirkusů a zooparků - lachtani kalifornští (*Lalophus californianus*). Mezi ploutvonožci se těší stejné pozornosti badatelů jako delfini skákaví mezi delfíny. A nakonec, jaká je situace u ryb? Lidé se dlouho domnívali, že ryby nemají čím slyšet, protože mají jen vnitřní ucho, zatímco boltce a střední ucho (s bubínkem) postrádají. Nepřítomnost těchto složek sluchového ústrojí vedla k názoru, že sluch se u ryb nevyvinul a že zvuky pro ně nemají biologický význam. Teprve experimenty, uspořádané před třiceti až čtyřiceti lety, rehabilitovaly rybí sluch. Bylo zjištěno, že ryby výborně slyší nízké zvuky od 50 do 2000-5000 Hz, a pokud jde o citlivost vůči zvukům v rozmezí 500-1000 Hz, nezůstává jejich sluch pozadu za sluchem savců. Kromě vnitřního ucha mají ryby ještě další orgány registrující výkyvy tlaku a pohyby vody. Jde o takzvanou **postranní čáru**. Takovými mechanickými receptory jsou vybaveni i jiní typicky vodní živočichové - mihule a také nejprimitivnější obojživelníci. Původní vodní živočichové měli smyslové buňky postranní čáry zřejmě uspořádané v podélných řadách přímo na povrchu těla (dodnes se taková postranní čára zachovala u mihulí a koljušek). V procesu evoluce se orgány postranní čáry zdokonalovaly. U chimér a primitivnějších žraloků jsou obrvené smyslové buňky uloženy ve žlábků, zatímco u převážné většiny ryb jsou dnes sdruženy do shluků a ukryty v kanálcích, spojených s okolním prostředím krátkými miniaturními průchody. Kanálky jsou vyplněny slizem. Těla smyslových buněk jsou uložena ve stěnách kanálku, do kterého vyčnívá pouze vlákno. Dva hlavní kanálky se táhnou po povrchu boků těla (odkud také název postranní čára) a na hlavě se větví v kanálky vedoucí nad a pod očima a v kanálky spodní čelisti a skřelí. Biologové pochopili funkční význam orgánů postranní čáry až na počátku našeho století. Ukázalo se, že obrvené buňky reagují na tlak vody. Proudící voda přemisťuje v kanálcích sliz nebo působí přímo na vlákna. Orgány postranní čáry jsou receptory tak zvaného **distančního hmatu**. Pomáhají rybám orientovat se v povaze proudů a zjišťovat pohyblivé předměty.

Každý tvor, který se pohybuje poblíž ryby, uvádí - i když třeba jen v nepatrné míře - vodu do pohybu a tím dává o sobě informaci. Často se stává, že rybáři uloví zcela slepé dravé ryby, kupodivu byly však přitom dobře živěné. Pozorování slepých štik v akváriu ukázalo, že tyto dravci velmi dobře vycítí blízkost se rybkou a takřka neomylně se jich zmocňují, zatímco mrtvých ryb si vůbec nevšímají.

6. VLIV EXTRÉMních ZMĚN NA BIORYTMY (různá zeměpisná pásma, dlouhodobá izolace, kosmické lety)

Cestování v dřívějších dobách (např. v relativně pomalých kočárech) neznamenovalo zdaleka takové narušení biorytmů, jako cestování současné. Nadzvukovými letadly se člověk dostane za několik hodin do zcela jiných zeměpisných pásem. To je pochopitelně spojeno s tím, že v novém místě existují odlišné rytmicity externích faktorů a vnitřní biologické hodiny se s touto vnější rytmitou dostanou do rozporu. Z toho vyplývá řada poruch a trvá určitou dobu, než se člověk dostane opět do souladu s externími rytmy a to posunem fázování své rytmicity. Do značné míry extrémní podmínky s sebou přinášely i pobyt v arktických či antarktických oblastech, mj. proto, že se lidský organismus musí přizpůsobit dlouhotrvajícímu polárnímu dni a stejnou dobu trvající polární noci. To se pochopitelně netýká pouze člověka, ale ve stejné míře i živočichů v těchto podmínkách žijících. Ještě větší zásah do biorytmů (a pochopitelně i do dalších funkcí organismu) přináší kosmické lety, při kterých v podmínkách vesmírné lodě chybí působení z vnějšku přicházejících rytmických změn. To znamená veliký nápor na zafixované nejruznější biorytmy a vytváří proto nutnost vytvořit takové podmínky v kabině, aby byl např. zachován 24ti hodinový rytmus bdění x spánku, aktivity, příjmu potravy a pod. Zmiňovali jsme se již o tom, že u člověka mohou tzv. sociální signály být silnějšími synchronizátory jeho biorytmů než vlivy světla. Proto se problémem stává i izolace kosmonautů od širšího kolektivu lidí, se kterým byli od té doby ve stálém styku. Tentýž problém přinášel např. i dlouhodobý pobyt lidí na ponorkách (ponorková nemoc!) či v jiném obdobném způsobu déletrvající izolace. To, co všechny tyto různé extrémní podmínky spojuje, je tedy jejich vliv na biorytmy a proto bylo také jejich působení z různých hledisek chronobiologie studováno. Bylo zapotřebí řešit celou řadu zcela praktických problémů spojených s tím, že se jednak rozšířila možnost člověka dostávat se do takových dříve nepřístupných podmínek, jednak se zrychlily jeho technické prostředky, kterými se to děje. Proto bylo v posledních desetiletích nashromážděno mnoho nových poznatků, důležitých nejen pro zachování biorytmů, ale také životaschopnosti a pracovní výkonnosti za těchto extrémních podmínek.

6.1. Vliv geografických podmínek a jejich rychlých změn na biorytmy

6.1.1. Vliv polárních podmínek na biorytmy

Když uvádí SOLLBERGER (1965) příklady, kdy chybí normální 24ti hodinová rytmicita, na prvním místě se ocitly podmínky polárních krajin. Je to proto, že v těchto podmínkách je 2x do roka velmi oslaben synchronizující vliv světla skutečností, že období světla je v létě velmi dlouhé, v zimě naopak krátké. Proto byly prováděny studie s cílem zjistit, zda endogenní rytmy - např. pohybové aktivity - se změněným podmínkám přizpůsobí, či zda dojde k desynchronizaci biorytmů. FIGALA (1980) uvádí některé zajímavé výsledky těchto sledování. Mnoho živočišných druhů (savci, ptáci, ryby, hmyz) mělo své biorytmy plně synchronizovány po celý rok. Mimo jiné se u nich extrémně prodloužilo období aktivity buď ve dne či v noci podle typu převahy aktivity v denním či naopak nočním období. U řady živočichů však došlo k desynchronizaci biorytmů, jako např. u myšice *Apodemus flavicollis*, u ryb střevle *Phoxinus phoxinus* či vranky *Cottus poecilopus*. U některých svaců a ryb bylo zjištěno, že u nich dochází k obrácení aktivity během ročního cyklu o 180°, tj. že kolem jarní rovnodennosti mění svůj denní rytmus aktivity na noční a kolem podzimní zase nazpátek na noční. Zatím všechny druhy zkoumaných denních ptáků je v polárních krajinách plně synchronizována, předpokládá se, že se na tom podílí i spektrální změny světla (endokrinní systém je přece velmi citlivý na vlnovou délku!). Je tedy jasné, že extrémní podmínky polárních oblastí mohou průběh biorytmů dosti výrazně modifikovat. O mechanismu těchto změn však doposud toho příliš nevíme.

6.1.2. Vliv zeměpisné polohy (šířky) na biorytmy

Problémy s rychlými cestami letadlem začaly být pozorovány až začátkem šedesátých let, kdy rychlost

letadel překročila rychlost zvuku. WARD (1980) uvádí, že první potíže začaly být pozorovány u cestujících, kteří podnikali cesty mezi Kodaní a New Yorkem, resp. z Kodaně přes Anchorage do Tokia prostřednictvím skandinávských aerolinií SAS. Tyto potíže popsal BRYANT (1963) a to pod názvem: "Co dělá cesta trysovým letadlem vašim metabolickým hodinám". Brzy bylo jasné, že nejde o rychlost letu, ale že jde o jiný problém. Vysvětlení přišlo i od samotných pilotů trysových letadel - zatím co cesty směrem východozápadním snášejí obtížně, lety směrem severojižním - na stejnou vzdálenost a stejnou rychlostí - neměly žádné nepříznivé účinky. Na podstatu problému poukázal již samotný BRYANT (1963), který upozornil na to, že lety křížující mnoho poledníků vychylují biologické hodiny z fáze s prostředím, zatím co lety ve směru poledníků nikoliv. Nejlépe to dokumentuje obr. č. 62.

STRUGHOLD (1965) ve svém článku věnovaném problematice biologických hodin v letectví a kosmonautice vychází z toho, že poruchy u těch, kteří cestují trysovými letadly přes více poledníků vyplývají z narušení jednoho ze základních biorytmů - cyklu spánků x bdění. Podle něj se tento rytmus upevnil jako životně nezbytná funkce u všech organismů včetně člověka v důsledku dlouhodobě ve fylogeneze působících 24ti hodinových externích rytmů, zejména světelných. Proto rychlá změna fázování vede u člověka k vážným neurotickým poruchám, pravděpodobně v důsledku stresové reakce. STRUGHOLD (1965) dává několik rad, jak se většímu narušení svých biologických hodin vyhnout. Předně doporučuje, aby do cílového místa cestující letěl s předstihem několika dnů a v těchto dnech by měl odpočívat a tak nechat přizpůsobování volný průběh. Tento způsob se užívá např. v případě sportovců, kteří třeba do místa olympijských her letí až s týdenním předstihem. Další radou je přizpůsobovat se změněnému rytmu už předem - postupně posunovat svůj cyklus spánku a bdění podmínkám v cílovém místě. Tomu může napomoci i třetí způsob, tj. mírná medikace ve správnou dobu v průběhu dne. ASCHOFF (1965) na základě svých pozorování s izolovanými lidmi za různých světelných podmínek došel k názoru, že řešením by mohlo být umělá expozice krátkým cyklům světlo x tma. Ve svých dalších pokusech - na pěnkavách - ASCHOFF (1969) zjistil, že doba přizpůsobení se změně časového cyklu o 6 hodin, což odpovídá posunu o 6 časových pásem, tj. 60 poledníků, je 3-6 dnů. Bohužel tento problém, zdánlivě méně důležitý než problémy spojené s kosmickými lety, nebyl dále podrobněji rozpracován. Vyžaduje přitom nesporně řešení, protože předpoklad WARD (1980), že se rychlost letů zvýší natolik, že tentýž den se člověk dostane na místo určení a zase nazpátek, je přece jenom ještě vzdálen dost od reality.

6.2. Vliv podmínek ve vesmíru na biorytmy

Otázka, jak bude člověk reagovat na nové cizí prostředí ve vesmíru, ve kterém budou chybět dosavadní synchronizátory a začnou se uplatňovat nové, se v současné době stává velmi aktuální. Uskutečňuje se řada vesmírných letů, ještě větší množství pokusů probíhá v simulovaných experimentálních podmínkách. Tyto pokusy, prováděné v izolovaných komorách, které jsou od vnějších podmínek dle možnosti zcela odděleny, v podstatě navazují na klasické pokusy KLEITMANA a RICHARDSONA z r. 1938 (viz GOLDSMITH a CLAIBORNE 1966) v Mamutí jeskyni. V takovýchto izolovaných komorách mohou pochopitelně také být aplikovány nové umělé podmínky, jejichž vliv je pak sledován. Jedno ze zjištění dosažených v experimentálních podmínkách je, že mezi jedinci existuje velká variabilita snášenlivosti nových a extrémních podmínek. Tyto rozdíly jsou dány mj. psychickými vlastnostmi, fyzickou odolností, věkem (u starších osob klesá) a pod. Vyhledávání lidí, kteří jsou ve zvýšené míře senzitivní na změnu externích rytmů a na synchronizaci vlastních biorytmů s touto změnou je velmi důležité při výběru osob, kteří mají být vysláni na vesmírné lety - proto jsou kandidáti těchto letů v tomto směru přísně testováni. Těmito otázkami se zabývali zejména HALBERG (OOOO) a KLEITMAN (OOOO). Od HALBERGA také pochází stanovení určitého poměru, tzv. Halbergova cirkadiánního kvocientu, který je dobrým ukazatelem schopnosti své rytmy v případě potřeby relativně snadněji měnit. Některé problémy, které se vyskytují v souvislosti s lety do vesmíru, se vyskytují i v jiných extrémních podmínkách, rovněž spojených s chyběním přirozených externích rytmů. Jde např. o dlouhodobý pobyt pod vodou u posádek ponorek (zejména moderních - atomových) - i zde je nutno uměle udržovat chybějící rytmicitu externích vlivů.

6.2.1. Výsledky přípravných experimentů pro lety člověka do vesmíru

Dříve, než do vesmíru vzlétli lidé, bylo třeba udělat řadu pokusů na Zemi. Sledován byl např. vliv změněného rytmu, chybění vlivů vnějšího prostředí, izolace buď jednotlivce samotného či menší skupinky, vliv beztlíže či změněné gravitace. Tyto pokusy bylo možné dělat i na Zemi, v laboratorních podmínkách, před vlastními vesmírnými lety a vystavení změněným podmínkám je také jednou z důležitých částí výcviku kosmonautů, kteří se na lety do vesmíru připravují. Druhou cestou bylo vysílání různých druhů zvířat předtím, než do družice nasedl člověk. Nejvíce zajímavé z tohoto hlediska bylo zkoumání vlivu vesmírných podmínek na primátů, tedy živočišných druhů velmi blízkých člověku. Sledováni byli jednak např. makak, tedy druh vzdálenější, jednak např. šimpanz, tedy jeden z druhů, který je člověku nejbližší. Metodickými přístupy byly buď laboratorní podmínky na Zemi, kde byly navozeny umělé rytmy lišící se délkou světelné a tmavé fáze, případně dalšími podmínkami, nebo sledování přímo ve vesmírných podmínkách. V literatuře jsou popisovány výsledky některých takových pokusů, např. tzv. Biosatelitů. U různých živočišných druhů byly sledovány rytmy aktivity (spánek x bdění), dále tělesné teploty, srdečního tepu či tlaku krevního. Výsledky ukázaly, že tep a tělesná teplota má prodlouženou dobu trvání oproti 24ti hodinové, a to cca 25ti hodinovou. Rytmicitu 24ti hodinovou měl zachován naproti tomu krevní tlak a také rytmicita bdění x spánek, i když třeba za určitých podmínek může dojít pouze k určitému posunu fáze cyklu beze změny celkové délky cyklu. V jiném pokusu se šimpanzy byl zvolen umělý rytmus, kdy při úplné izolaci bylo užito schématu střídání 10 dnů LD 12:12, pak L 24, pak zase LD 12:12. Za podmínek stálého světla se poněkud prodloužila doba cyklu spánek x bdění a to na 24,8 hodin, obdobně bylo zjištěno u rytmu vylučování moči a u dalších metabolických ukazatelů. U člověka za laboratorních podmínek byl sledován vliv změněných rytmů světla a tmy, např. LD 16:8 a zároveň podmínky sníženého pohybu (hypokinese) - část pokusných osob necvičila a druhá pravidelně dózovaně cvičila. Výsledky ukazují následující obrázky č. 63 až 66. První z nich, obr. č. 63, ukazuje stav v době, kdy obě skupiny měly zcela stejné podmínky. Je vidět, že všechny 3 sledované hormony: - černé body a plná čára kortizol - bílé body a plná čára T₃ - čtverečky a plná čára T₄ i tělesná teplota - trojúhelníčky a přerušovaná čára - ukazují jasnou rytmicitu. Všechny 3 hormony mají přitom vrchol kolem 7.30 hod., thyroxin navíc ještě jednou odpoledne kolem 15.30 hod. Pokud jde o tělesnou teplotu, je její maximum kolem 19.30 hod.

Na dalším obrázku - č. 64 - je uvedena denní rytmicita srdečního tepu a tělesné teploty jednak před, dále v průběhu a konečně po odlišné pohybové aktivitě. Stejně jako na minulém obrázku je období tmy (od 23.30 do 7.30 hod.) označena šedým polem. Z obrázku je vidět, že maximum pokud jde o srdeční tep je kolem 19.30 hod., se stoupáním od začátku světlé části dne začíná. V období, kdy se opět podmínky obou skupin neliší, stoupá výrazně srdeční tep až do začátku tmavého období kolem 23.30 hod. Tělesná teplota - pravá část obrázku - takové výrazné změny nemá. Co je však možné pozorovat, je pokles tělesné teploty v důsledku omezení pohybu, který se ani po převedení do normálních podmínek nevrátí až na výchozí úroveň.

Na dalším obrázku (č. 65) vidíme, jak vypadá denní rytmicita vylučování kortizolu u 4 osob cvičících a 4 necvičících - v levé části po různé době hypokineze a před (dole) a po (nahore) hypokinetickém období, v pravé části jsou pak výsledky sumovány. Z obrázku je vidět, že hypokineze nemá tak velký vliv na circadiánní rytmicitu vylučování kortizolu. Na posledním obrázku serie, č. 66, je vidět, že větší změny je možno pozorovat u obou hormonů štítné žlázy, tj. T₄ (vlevo) a T₃ (vpravo). Tyto hormony ukazují změněnou rytmicitu v období hypokineze a návrat k původní úrovni v následujícím srovnávacím období. Mění se však pouze rozkmit rytmu, jeho délka však zůstává zachována.

6.2.2. Problematika vlastních vesmírných letů z hlediska biorytmů a jejich poruch

Vesmírné lety znamenají přenos do podmínek zcela odlišných od pozemských, mj. i z hlediska rytmických dějů. Především jde o zachování rytmu bdění x spánek za zcela změněných podmínek vnějších, než jaké za pozemských podmínek ovlivňují rytmus naší aktivity a spánku. Již tak zvané **orbitální lety** v blízkosti Země znamenaly z tohoto hlediska změnu normálního cyklu den - noc za rychle se střídající období slunečního světla a tmavý zemský povrch. Tyto oblety - orbitální lety kolem Země - trvaly od 90 do 130 minut, tj. cca 1/10 pozemského cyklu, přičemž přibližně 30% z doby obletu znamenalo tmu, či lépe řečeno šero. To je tedy jedna podstatná změna světelných podmínek pro

kosmonau- ty, jsou zde ale i další, např. změna měsíčního světla a vliv světla Země. Chybí tedy dosavadní cyklus světla a tmy, navíc se zde objevuje i další faktor, ztráta působení gravitace. Pokud jde o cyklus bdění x spánek neznámá stav beztlíže nějaký faktor, který by spánek rušil, znamená totiž stimulaci parasymptiku, stejně jako k ní dochází právě ve spánku. Proto z důvodu sta- vu beztlíže neměli sovětší ani američtí kosmonauti potíže se spánkem. Beztlíže naopak přispívala k tomu, aby se spánek proje- vil, problémem ale bylo, aby se vžitý rytmus spánku u kosmo- nautů udržel i za odlišných externích podmínek vesmírných le- tů. To se podařilo vytvořením umělých podmínek v družici tak, aby se co nejvíce blížily pozemským podmínkám. Chybění gravitace, zejména při dlouhodobějších letech, však přináší jiný problém a to je postupující atrofie svalst- va. Do určité míry tomu lze zabránit zařazením vydatného cvi- čení do denního programu kosmonautů. Zpočátku letěl ve vesmírné lodi jeden kosmonaut, pak se postupně jejich počet zvyšoval a potřebné proto bylo synchro- nizovat u nich společně spánek a období aktivity. Tak se po- tvrdilo, že rytmus spánku je dědičně hluboce zakořeněný a přetrvává i za podmínek, které jsou značně změněny. Kosmo- nauti mohou přitom přesto přibližně 24ti denní rytmus aktivi- ty a spánku na pokyny z řídicího střediska zachovávat. Je nesporné, že k dalšímu pokroku letů do vesmíru dochá- zí s rozvojem tzv. vesmírných stanic, tak jsme toho svědky, se všemi počátečními obtížemi, v současné době, kdy vzniká mezinárodní stanice připojováním dalších dílů k základnímu modulu. Rekordman v době existence - ruská stanice MIR - již letos skutečně definitivně skončí, právě s dohotovením první části mezinárodní vesmírné stanice. Vlastní vesmírný let nabízí z hlediska zachování resp. ovlivnění rytmicity různé otázky, např.: - do jaké míry jsou spojeny se schopností vyrovnat se s vesmírným letem problémy zachování 24ti hod. rytmů - zda mají nějaký význam (a pokud ano, tak jaký) změněné jemné synchronizátory (např. magnetic- ké pole, gravitace či záření). Při jednom z programů Appola (Appolo 15), byly i tyto otázky studovány. Na dalších obrázcích (č. 67 až 69) je uve- deno, jaké byly pozorovány rytmy pokud jde o dýchání a srdeč- ní tep u tří kosmonautů. Na ose y je délka pozorovaných rytmů v hodinách, na ose x pak amplituda v porovnání se standardní odchylkou. I když u všech tří kosmonautů je možno pozorovat značnou variabilitu pokud jde o tepovou či dýchací frekvenci, tak pouze v případě dýchací frekvence u kosmonauta 1 a tepové frekvence u kosmonauta 3 jsou rozdíly skutečně vysoce statis- ticky významné.

Jiné podmínky znamenala cesta na Měsíc - zde vstoupily do hry další faktory, mj. nutnost dodržet nezávislost na cyk- lu 27 denního oběhu Měsíce, na změně osvětlení ze Země (proti Měsíci je Země "v úplňku" 75x jasnější než Měsíc z pohledu ze Země !). Východ a západ Slunce na Měsíci nepředstavuje takový důležitý časovač jako na Zemi. Spánek na Měsíci může být lep- ší než na Zemi, vzhledem k nižší gravitaci. Dalším cílem lidských posádek budou cesty směrem k pla- netám a první na řadě bude zřejmě Mars. Již se zde objevil první průzkumník, tj. malý robot, který podává informace při- mo z povrchu Marsu. Na této planetě, resp. při obletech kolem ní, bude zapotřebí počítat s tím, že je zde stálé sluneční světlo, tedy konstantní světelné podmínky. Cesta k Marsu vy- žaduje více než 1/2 roku, tj. asi 7 měsíců, což je již dost dlouhá doba z hlediska pobytu ve vesmíru, i když takovou dobu i delší již také kosmonauti ve vesmíru ztrávili. Cesta člově- ka na Mars se dá očekávat začátkem příštího tisíciletí. Konstantní světelné podmínky přitom budou působit proti zděděnému návyku na střídání světla a tmy v pozemských pod- mínkách. Dalším problémem bude stav beztlíže, který má právě při dlouhodobých letech za následek dekalifikaci kostí. Bude proto nutné zařadit vyrovnávající cvičení, které bude zname- nat dobrý základ i pro potřebný pravidelný spánek (již se ta- kovéto cvičení do programu kosmonautů i na kratších letech zařadilo). Na samotném Marsu je cyklus den - noc asi jenom o 37 minut delší, než je na Zemi. Intenzita slunečních paprs- ků by byla na Marsu asi 1/3 ve srovnání s podmínkami na Zemi. Jde tedy o poměrně srovnatelné podmínky se Zemí. Ostatní planety naší sluneční soustavy mají podmínky, pokud jde o cykly, značně odlišné. Merkur obíhá kolem Slunce cca 58,5 dne, rotace kolem vlastní osy je značně pomalejší než na Zemi. Vzdálenější planety se kolem své osy pohybují cca 10-14 hodin, doba oběhu kolem Slunce je úměrná jejich vzdálenosti od Slunce. Je přitom třeba počítat s uplatněním vztahu rychlosti a času, v mezihvězdném prostoru se bude pohybovat vesmírná loď rychlostí 40 km/sek. i více, což se projeví v tom, že re- álně uplyne kratší doba. Fyziologické rytmy tím budou pocho- pitelně také ovlivněny, resp. bude zapotřebí zajistit jejich upevňování i za těchto změněných podmínek. Pro současnou dobu, tj. prakticky začátek třetího tisi- ciletí, je reálná cesta k Marsu, zatímco delší cesty k ostat- ním planetám a

tím spíše mimo naši sluneční soustavu, jsou spíše v oblasti science-fiction. Přesto i takovéto cesty jsou již nyní uvažovány jako možné a uvažují se i podmínky, za kterých by se cesta trvající několik let mohla uskutečnit. Reálně se pro tyto lety zvažuje i možnost hibernace, tj. uvedení do ztrnulého stavu podchlazením, s probuzením až v období těsně před dosažením cíle. Pochopitelně jsme zatím daleko od doby, kdy by bylo možné člověka ochladit, delší období (případně řadu let) jej nechat takto hibernovat a pak jej bez problému z této hibernace probudit. Cesta je to pochopitelně lákavá, jde o problém, který v každém případě stojí za to sledovat.

Jako určité zpestření při probírání vlivu kosmických letů na různé biorytmy u lidských i zvířecích kosmonautů je třeba si říci o pytloušovi, malé pouštní myši (*Perognatus longimembris*), jak ho popisuje WARD (1980). LINDBERG tento druh sledoval ze zcela jiného důvodu, zjišťoval účinek radioaktivního spadu na místní zvířena na jedné pouštní raketové základně. Měl za úkol tato zvířata odchyťovat a posílat je pak do laboratoře ke sledování účinku na chromozomy. Nebylo nutné, aby odchycená zvířata zůstala živá, tak je LINDBERG házel do plastických sáčků a ty ukládal do beden se suchým ledem, kde zvířata okamžitě zmrzla. Když jednou LINDBERG přinesl bednu se suchým ledem se zcela zmrzlými plastickými sáčky, nechtěl za chvíli věřit svým očím. Některé plastické pytlíky začaly totiž poskakovat po laboratoři! Když se LINDBERG podíval dovnitř sáčku, byl tam živý a čilý pytlouš. Toto zvířátko dokáže při ochlazení znehybnit a v tomto stavu se dá zmrazit na kámen. Takovéto ochlazení nejen přežije, ale když se nechá trochu roztát, probudí se pytlouš ze ztrnulosti a je okamžitě aktivní a čilý. Tím se stal pytlouš ideálním zvířetem pro sledování účinku kosmických letů na rytmické děje. Tento drobný hlodavec - váží pouze kolem 10 g - má také jasně vyjádřené denní rytmy a to rytmus aktivity a ještě lépe měřitelný rytmus tělesné teploty. Přitom v chladu ztrne a jeho požadavky na O₂ jsou ještě menší než normálně (bez jakéhokoliv poškození může být např. na dlouhou dobu zaletován v konzervě!). Proto byl tak vhodným modelem pro dlouhé cesty v kosmické lodi. LINDBERG se stal vedoucím laboratoře bioastronautiky v Kalifornii a začal tento svůj náhodně objevený model studovat (LINDBERG a sp. 1965, 67, 69). Vyvinul telemetrické zařízení schopné předávat zprávy o aktivitě a tělesné teplotě pytlouše (vzhledem k malým rozměrům tohoto zvířátka musilo být nesmírně malé!). LINDBERG se spojil se světovou kapacitou v oblasti studia rytmických dějů, kterého jsme si opakovaně citovali - s PITTENDRIGHEM. Spolu také vyvinuli komplexní jednotku, kde by zvíře po dobu letu mohlo být umístěno a kde by byly přístroje, které by ho sledovaly. Celá tato jednotka nevážila více než 11 kg. Její schéma je vidět na obr. č. 70.

Jaká je naděje, že tato jednotka a její obyvatel přispějí k objasnění důležitých problémů vlivu kosmických letů? NASA při plánování své budoucí práce se chce věnovat i výzkumu biologických rytmů, tj. sledování izolace člověka od řady běžných podnětů na biorytmy. Takovéto pokusy by zároveň mohly přinést i základní informace o mechanismech biorytmů. Biologické hodiny, dané zejména circadiánní rytmitou, budou při letech do vesmíru hrát významnou roli, rytmita bude hrát roli v fyziologických pokusech konaných na družicích. A k čemu by byl vhodný pytlouš, se svou výjimečnou schopností upadnout do ztrnulosti při zmrazení a při rozmrazování opět opakovaně ožít? Z hlediska studia biologických hodin je důležitá otázka, jak se tyto hodiny budou chovat, až budou vzdáleny vlivům všech geofyzikálních sil Země. Problém pronikání do vzdálenějších částí naší soustavy je přece spjat nejen s otázkou rychlosti vesmírných lodí, ale i s tím, jak na tuto dlouhodobou cestu budou reagovat lidé a jejich rytmické děje. Znalost těchto reakcí by pochopitelně měla být napřed získána v pokusech na zvířecích modelech. Velmi významný by v tomto směru mohl být let kolem Slunce, kdy by vliv geofyzikálních účinků Země byl už zanedbatelný. Právě pro lety takového druhu by byl velice vhodným experimentálním modelem pytlouš. Kdy se tak stane - těžko říci, i v USA kosmický program musil doznat značných úspor, snad se ale někdy začátkem příštího tisíciletí i tento malý kosmonaut - pytlouš - dočká.

Bylo by možné ještě uvádět řadu nálezů o vlivu vesmírných letů, literatura o tomto tématu se však stává již dost enormní a nemůžeme proto uvádět všechny příklady. To se již vymyká rozsahu našich skript a vyžadovalo by si skripta jiná, speciálně věnovaná této problematice.

7. BIOLOGICKÉ RYTMY A PSYCHICKÁ VÝKONNOST

Hledání rytmicity se nevyhnulo ani oblasti duševní činnosti. Šlo nejen o teoretický výzkum, ale o řešení otázek veskrze praktických, které mají dopad na pracovní výkonnost a tím i na pracovní produktivitu v důležitých oblastech sportovního výkonu. První otázkou bylo, zda je vůbec možné nějaké rytmy v psychické výkonnosti pozorovat, resp. zda lze tyto rytmy nějak ovlivnit. Bylo by také možné formulovat problém tak, zda rytmy psychické výkonnosti jsou odrazem nějaké jiné fyziologické rytmicity, např. úrovně metabolismu. Speciální oblastí výzkumu byl výzkum mozkových proudů, ať již v průběhu činnosti nebo při spánku, tj. v obou základních částech jednoho ze základních rytmů - střídání aktivity a spánku.

7.1. Rytmicity psychické výkonnosti a její ovlivnění různými faktory

Ve 24-ti hodinovém časovém intervalu můžeme zaznamenat dvě základní období: - spánek, trvající v průměru mezi 7-8 hodinami (s možností dosti značných diferencí mezi jednotlivci!) - aktivní fáze, zahrnující jak vlastní pracovní činnost, tak i činnosti mimopracovní. Z tohoto základního dělení na dvě odlišná období vyplývá u člověka i hlavní 24-hodinová rytmicity nejrůznějších ukazatelů, od srdečního tepu, dýchání, tlaku a teploty těla až po krevní hladiny metabolitů, hormonů a pod. (COLQUHOUN 1971). Maximum v těchto rytmických změnách můžeme pozorovat převážně v denním (pracovním) období a minimum v období spánku. Mezi těmito limity se hodnota daného parametru kontinuálně mění. Jako příklad si můžeme uvést křivku změny tělesné teploty, jak ji uvádí COLQUHOUN (1971) - viz obr. 71. Je zajímavé, že zatímco k poklesu od období maxima dojde zhruba za 9 hodin (mezi 20-tou hodinou večer do 5-té hodiny ráno), vzestup trvá téměř dvakrát tak dlouho. Je ovšem nutno říci, že mezi 10-tou až 20-tou hodinou stoupá teplota těla pozvolna, zatímco v relativně krátkém období od 7-mé do 10-té hodiny naopak rychle.

Ke sledování byla užita skupina 70 mladých mužů, která měla denní rozvržení vršení činností obdobné, jako u většiny zaměstnanců, tj. vstávali v 6.30 hod. a pracovali v období od 8.00 do 16.30 hod. Znamená to, že v průběhu prvních hodin pracovní činnosti dochází k největšímu růstu teploty těla, která pak pomalu stoupá až do konce směny, aniž by však dosáhla svého denního maxima. Dá se předpokládat, že obdobně jako tělesná teplota se vyznačuje rytmickými změnami i funkce mozku, včetně mentální výkonnosti. Aby se tento předpoklad vyvrátil nebo potvrdil, byla za definovaných a kontrolovaných podmínek udělána řada studií. Sledována byla výkonnost jednak v průběhu dne v tzv. ranní směně, tj. od 6-14 hodin, jednak v odpolední, tj. od 14-22 hod. V dalších studiích byla pak sledována výkonnost i v průběhu nočního období, tj. mezi 22 hod. večer do 6.00 hod. ráno. Již delší dobu je známo, že člověk nemá stejnou výkonnost v celém průběhu pracovní směny, jak shrnul KLEITMAN (1963). Je ovšem nutné si uvědomit, že lidé se mohou v závislosti na fázování své 24ti hodinové rytmicity lišit v období své maximální a minimální výkonnosti. U některých lidí můžeme pozorovat fázový posun směrem k maximální výkonnosti v pozdní odpoledne a večer (lidé "sovy") na rozdíl od těch, kteří jsou nejvýkonnější ráno a dopoledne (lidé "kohouti"). V přehledové práci již z třicátých let FREEMAN a HOVLAND (1934) shromáždili data nasvědčující denním variacím výkonnosti nejen smyslové a motorické, ale i mentální. Ve všech uvedených oblastech zaznamenali rytmické změny v průběhu sledovaného období. I když autoři nenalezali nějaké jednotné schéma změn (popsali naopak 4 základní typy), KLEITMAN ve svých vlastních pozorováních zaznamenal jasnou převahu jednoho z typů. Šlo o rytmicity vyznačující se ranním vzestupem s maximem brzy odpoledne, a poklesem v odpoledních hodinách. Naproti tomu COLQUHOUN (1971) zaznamenal u většiny parametrů maximum spíše večer a to při ranním typu směny - při odpoledním však byla výkonnost naopak večer nejnižší. Přes tento časový posun ve výsledcích, shodují se KLEITMAN i COLQUHOUN v tom, že existuje základní 24-ti hodinová rytmicity výkonnosti, kterou je možné porovnávat s rytmicitou tělesné teploty. Shoda křivek tělesné teploty a mentální výkonnosti vedla k úvahám, zda mezi oběma jevy existuje příčinná souvislost. KLEITMAN (1963) předpokládá, že nejpravděpodobněji je rychlost procesů myšlení závislá na celkové úrovni metabolických procesů, jejichž výslednicí je i tělesná teplota. Výsledky pozorování COLQUHOUNA (1971) s touto představou v zásadě souhlasí, přinášejí však i doklady o tom, že tento vztah není tak jednoduchý. Jedním z problémů, kde není možné vysledovat

přímou návaznost mezi tělesnou teplotou a výkonností je tzv. **poobědový fenomén**, kdy je možné pozorovat pokles výkonnosti, aniž by docházelo k poklesu tělesné teploty. Je zajímavé, že přitom nezáleží ani tak na skutečné době příjmu jídla v daný den, ale spíše na převládající jeho době v dlouhodobém období. V každém případě je ale možné pozorovat určitý pokles psychické výkonnosti po jídle, za 1-2 hodiny po jeho příjmu, což je zřejmě dáno dočasným přesunem krve z mozku směrem k zažívacímu traktu. Tento přesun nemusí být pochopitelně spjat s poklesem celkové tělesné teploty, protože menší prokrvení v mozku je vyrovnáno větším prokrvením a tím také oteplením v oblasti gastrointestinálního traktu. KLEITMAN (1963) dává v úvahu rovněž další možnost, že poobědový pokles může být pozůstatkem starší rytmicity odpočinek x aktivita, o trvání 80-90 minut. Tato původní rytmicitata se projevuje v období spánku a je pozorovatelná v tzv. REM EEG vlnách při snění a KLEITMAN předpokládá, že se může projevovat i v období aktivní činnosti v průběhu dne. Pokud předpokládáme, že křivka mentální výkonnosti odráží část cyklu období bez spánku, pak bylo zajímavé zjistit, jak se projeví spánková deprivace. V pokusech MURRAYE a sp. (1958) byl popsán důsledek 98 hodinové spánkové deprivace pokud jde o rytmus tělesné teploty a subjektivní cyklus období "nespánku". LOVELAND a WILLIAMS (1963) ukázali, že v průběhu 3 dnů spánkové deprivace setrvává úzká návaznost tělesné teploty a mentální výkonnosti. Celková úroveň výkonnosti v průběhu spánkové deprivace poklesá, stejně jako tělesná teplota. Účinek doby dne na výkonnost se u deprivovaných osob zdála být vyšší než u kontrolních osob s normálním podílem spánku v průběhu 24hodinového cyklu. Obdobné jsou v tomto směru i výsledky FIORICA a sp. (1968) a DRUCKERA a sp. (1969). Zajímavý problém představují z hlediska rytmicity mentální výkonnosti ti pracovníci, kteří jsou opakovaně nuceni pracovat v nočních hodinách - proti dřívější době jejich počet výrazně vzrostl. Zejména v takových oblastech, kde je potřebná 24hodinová koncentrovaná pozornost, je výkon práce v noci velmi náročný. Je otázka, zda za těchto nočních podmínek mohou tito pracovníci být stejně výkonní jako v období denním. Je pochopitelné, že výzkum v této oblasti je často financován armádou, kde takové požadavky jsou na některé kategorie pracovníků kladeny spíše než v civilním sektoru. Když bychom se vrátili k problému výkonnosti v noci ve srovnání s obdobím ranním (8-16 hod.) či odpoledním (16-23 hod.), můžeme vyjít z práce BROWNA (1949) - viz obr. č. 72. Z obrázku je patrné, že největší množství chyb dělají pracovníci v nočním období (mezi 2-4 hod. ráno), zatímco nejméně v období 16-18 hod. odpoledne. Obecně ale v období cca od 10 hod. do 22 hod. je úroveň chyb podstatně nižší než v období od 22 hod. večer až 10 hod. dopoledne.

Když porovnáme nalezenou křivku odrážející mentální výkonnost s křivkou na obr. č. 71, která zachycuje tělesnou teplotu, vidíme shodný časový průběh obou křivek. Podobné závěry vyplývají i ze studií dělaných jinými autory, jako např. MENZELEM (1962), ULICHEM (1964), MAREM a WOTKEREM (1968). Zajímavý je náleznález GAVRILESCA a sp. (1967), kteří pozorovali postupné zlepšování ukazatelů mentální výkonnosti v průběhu týdne s nočními směnami; vysvětlují to rychlejší adaptací VNČ, ve srovnání s vegetativním nervstvem. Prakticky důležitá jsou i sledování, ve kterých byly užity osoby, které rychle "přeskočily" několik časových pásem směrem západovýchodním či opačným. Jak ukázaly např. studie HAUTYHO a ADAMSE (1965) či KLIMA a sp. (1970), je zapotřebí 3-5 dnů k tomu, aby se projevila adaptace na nové podmínky nejen u fyziologických rytmů, ale i u rytmů mentální výkonnosti. Totéž platí pro osoby žijící dočasně v Arktidě (LOBBAN 1965). Bohužel, v žádné z výše uvedených studií dělaných přímo na pracovištích nebyla v jednom sledování současně zjišťována mentální výkonnost a tělesná teplota - vždy byla sledována velikost pouze jednoho z obou parametrů. Proto bylo toto porovnání uděláno za laboratorních podmínek v několika studiích. První z nich byla studie KLEITMANA a JACKSONA (1950), další studie CHILESE a sp. (1968) a pod. Nálezy z těchto studií nedaly jednoznačné závěry o vztahu obou veličin a poukázaly naopak na možný význam dalších vlivů, např. motivace či celkové spánkové deprivace. Upozornily i na význam stressu vyplývajícího ze skutečnosti, že jsou kladeny větší požadavky na mentální výkonnost, než v daném období dne bylo dosud požadováno. V souvislosti s těmito pokusy, ve kterých v podstatě šlo o studium případných změn fázování, se začalo poukazovat i na rozdíly ve fázování rytmicit, dané přímo typově - KLEITMAN (1963) byl mezi prvními, kteří upozornili na existenci jedinců "ranních" a jedinců "večerních". Další sledování takových zásadně odlišných typů osob ukázalo u nich diference v různých fyziologických i mentálních

rytmicitách a dokonce i pokud jde o charakteristiku osobnosti. COLQUHOUN a sp. (1968, 1971) se podrobně věnovali otázce vzájemného vztahu mentální výkonnosti a tělesné teploty. Prokázali za podmínek dlouhodobého sledování, že mezi oběma parametry existuje vzájemný vztah (viz obr. č. 73). Zároveň ovšem prokázali, že se postupně mění charakter křivky tělesné teploty v průběhu cyklu (viz obr. č. 74).

Z obrázků je jasně patrné, že se s postupem doby v průběhu sledování při 8 hod. práci v nočním období stále vyrovnává původní pokles v tělesné teplotě. Zajímavé je, že totéž platí i pro ranní směnu - s prodloužením doby práce (6-tý a 12-tý den) se tělesná teplota v průběhu ranního období zvyšuje - viz obr. č. 75). Zároveň se mění i některé parametry mentální výkonnosti. Jak ukazuje další obr. č. 76, platí obdobné změny i při užití 12-ti hodinové práce - opět můžeme vidět zvyšování tělesné teploty po 6 a 12 dnu sledování.

Je jasné, že mentální výkonnost projevující se v řadě testů, se mění v průběhu 24-ti hodinového období. Pro další výzkum však zůstává nedořešena řada otázek, souvisejících s tím, do jaké míry na 24-ti hodinovou křivku mentální výkonnosti působí některé další faktory (COLQUHOUN 1971). Na příklad jde o to, jak se uplatňuje délka a kvalita předchozího spánku, nebo zdravotní stav jedince či přítomnost stimulujících či naopak potlačujících farmak (fyzické faktory). Výrazně se však může uplatňovat i stupeň inteligence, úroveň motivace a struktura osobnosti (psychické faktory). Jsou však ale i další faktory, které se mohou uplatňovat, jako ku příkladu teplota prostředí, jeho hlučnost, podávaná strava (jak pokud jde o množství a složení, tak časové rozložení jejího příjmu), rozdělení a délka přestávek v práci, sezóna roku a pod. Není rovněž doposud jasné, do jaké míry se uplatňuje rozdíl mezi pohlavími a vliv věku. Stále zbývají k dořešení i otázky spjaté s rytmicitou vyšších úrovní VNC, s rytmy poznávacích procesů, paměti a pod. Celou škálu problematiky vlivu měnící se směnivosti je třeba řešit proto, že počet lidí, u kterých jsou směnné součásti pracovní činnosti, stále narůstá. Největší problém přitom představuje narušení normálního rytmu spánku při nočních směnách. Na noční směnivost si lidé navykají pomalu a postupně, existují však jedinci, jimž to dělá menší obtíže. Hlubší studium tohoto rozdílu mezi lidmi povede nejen k lepšímu pochopení rozdílu časovače ("Zeitgeber") a jeho úlohy při kontrole rytmicity, ale i k lepšímu výběru osob vhodných pro zastávání náročných činností v nočních směnách. Je pravděpodobné, že primárně vhodných osob je příliš málo, větší však může být počet osob schopných se na 5-ti denní (případně delší) období nočních směn "natrénovat". Hlavním problémem při nočních směnách je počáteční narušení až deprivace spánku - je známo, že nepříznivě působí nejen chybějící spánek při první noční směně, ale i kratší a přerušovaný spánek v denním období v dalších dnech cyklu nočních směn (TUNE 1968). Bylo by vhodné vyzkoušet i účinnost různých farmak pro nástup i zkvalitnění tohoto denního spánku. Málo pozornosti bylo také doposud věnováno otázce "reaptace" na normální rytmus spánku po přechodu z nočních směn. Obvykle se předpokládá, že 48-ti hodinový interval je zcela dostatečný k tomu, aby se rytmicita dostala do "normálních kolejí". Nemusí to být u všech jedinců pravda a tím hůře se musí projevit zkracování tohoto 2 denního intervalu či dokonce jeho úplné chybění, jak se někdy v zájmu rychlejší rotace směn děje. Většinu nadhozených problémů je třeba napřed řešit v laboratorních studiích, jejich výsledky je však třeba stále ověřovat v reálných pracovních podmínkách (to je pochopitelně obtížnější, ale je hlavním cílem dosažení určitých pracovních výsledků). Jedním z hlavních cílů laboratorního výzkumu je připravit takovou paletu testů, aby mentální výkonnost byla skutečně zachycena co možná odpovídajícím způsobem. Tyto testy musí být rychlé a jednoduché a přitom senzitivní, schopné zachytit i jemnější rozdíly v rytmicitě v průběhu 24-ti hodin (ale případně i v kratším bazálnějším období cca 90 minut - viz str.). Sada takových testů musí vyhovovat i "polním" podmínkám výzkumu přímo na zkoumaných pracovištích. I když některé nálezy (např. poobědový fenomén, určité odchylky změn při poruše cyklu spánku a pod.) nejsou zcela v souladu s představou o přímém příčinném vztahu tělesné teploty a mentální výkonnosti, určitý vztah mezi rytmicitami obou dějů zcela jistě existuje. Je však třeba upřímně říci, že přímý test závislosti mentální výkonnosti na rytmicitě tělesné teploty dosud chybí. Bylo by zajímavé sledovat současně zjišťovanou mentální výkonnost za podmínek změněné periodicity tělesné teploty, např. různými farmaky, hormony a pod. Pokud by se prokázalo, že podobná závislost neplatí např. pro případ "vegetativních" procesů, bylo by možné udělat dva závěry. Předně ten, že některé speciálnější rytmické

parametry jsou nezávislé a to vázaně na strukturu mozku. Druhým závěrem by mohlo být, že jde o naučené časové závislosti (časově podmíněné reflexy), jak předpokládá COLQUHOUN (1971).

7.2. Rytmicita vnímání a reakce - úloha mozku

V této oblasti výzkumu byla udělána řada výzkumů na rozhraní fyziologie a psychologie, výchozím bodem výzkumu většinou bylo zkoumání elektrické aktivity mozku za různých situací. O rytmických změnách v elektrické aktivitě mozku je již hodně známo; pravděpodobně nejvíce víme, co je alfa rytmus. Tento rytmus byl korelován se řadou parametrů, např. s psychomotorickou schopností či inteligencí. Méně je známo o možných vztazích alfa rytmů a časových aspektů percepční a motorické výkonnosti. Alfa rytmus je nejlépe patrný, když vyšetřovaná osoba má zavřené oči a přitom nepřemýšlí o nějaké zvláštní věci. Tento rytmus je totiž výrazně potlačován mentální aktivitou, např. výpočty a pod. Z hlediska výzkumu významu alfa rytmu je možno odlišit dva směry: - jeden se zabývá touto otázkou z hlediska teorie vnímání (tato oblast je mimo okruh daný zaměřením skript - přehled viz např. HARTER 1967) - druhý se zabývá vztahem alfa rytmu k chování, aniž by si kladl za cíl ověřování výše zmíněné teorie. Vzhledem k tomu, že alfa rytmus se vyznačuje zřetelnou periodicitou, není překvapivé, že bývá považován za určité "psychologické hodiny" (AANFORD, 1971 - v CALQUHOUN 1971). Proto také bývá testována jak frekvence tak fáze této rytmicity. Alfa rytmus má frekvenci přibližně 10 Hz, jednotlivé osoby se však poněkud mohou lišit; někteří lidé mohou při rychlejším alfa rytmu za stejnou časovou jednotku provést větší množství úkolů (projeví se např. v reakční době - RT - či v jednoduchých opakovaných motorických úkonech - např. klepání). Tato skutečnost byla experimentálně potvrzena např. pokusy MUNDY - CASTLEA a SUGARMANA (1960), ze kterých vyplynulo, že alfa rytmus dobře odráží percepční a motorickou rychlost v mozku. MUNDY-CASTLE (1962) však ukázal, že např. vztah mezi úrovní ťukání a alfa rytmem chybí u starších lidí. Naproti tomu SURWILLO (1963) uvádí, že reakční čas koreluje s věkem (osoby 28-99 let), vztah reakčního času a alfa rytmu však zůstává v celém věkovém rozmezí zachován (starší jedinci mají tendenci k pomalejšímu alfa rytmu!). V dalších pokusech (SURWILLO 1964) tento autor prokázal, že komplexní chování (testované výběrem na základě zvukového signálu) je možno vztáhnout k alfa rytmu. Nebyla přitom zjištěna přesná závislost v délce alfa rytmu na stáří, spíše bylo možné označit osoby s rychlejší a pomalejší alfa frekvencí (kalendářní a biologické stáří!). Tyto výsledky vidíme na obr. č. 77. Někteří autoři předpokládali, že alfa rytmus může představit vnitřní hodiny, pomocí nichž mohou být měřeny kratší intervaly času. Ukázalo se však, že jak alfa rytmus tak určování časových intervalů mohou být ovlivněny řadou faktorů, jako jsou stav štítné žlázy, teplotní podmínky, úroveň bazálního metabolismu a pod. Další studie byly věnovány otázce vztahu fáze alfa rytmicity k psychologickým parametrům, např. k měření reakčního času. Pokud vycházíme z předpokladu, že alfa rytmus představuje změnu excitability kůry mozkové, dají se očekávat určité změny v reakční době v různých fázích tohoto rytmu. Kupodivu však starší práce (WALSH 1952) žádný takový vztah neobjevily, studie novější tento vztah sice prokázaly, ale vliv fáze je poměrně malý (DUSTMAN a BECK 1965).

Závislost na fázi alfa rytmu byla prokázána rovněž pokud jde o začátek určité reakce (mžiknutí oka) - to pozorovali např. GAARDER a sp. (1966). Přes řadu provedených studií stále zůstává v problematice alfa rytmu mnoho nejasného, případné nalezené závislosti potřebují ještě prověřit a rozšířit paletu jak metodickou tak sledovat různé podněty (nikoliv pouze vizuální, jak se převážně doposud děje). Lépe se prozatím z tohoto hlediska jeví průkaz vztahu vlastní časové periody (např. vzhledem k reakční době) než k její fázi.

7.3. Spánek jako biorytmus

Změny v průběhu spánku je možné zaznamenat na EEG, což je možné považovat za nejlepší metodiku, pomocí které můžeme porovnávat i různé živočišné druhy. Tato metoda byla poprvé použita BERGEREM (1929). Zasluhou výzkumu řady autorů (přehled viz WEBB 1971) se postupně rozšířily naše znalosti o různých stádiích spánku, charakterizovaných na EEG různými vlnami - viz obr. č. 78.

Jde o : stádium přechodné (usínání a probouzení) 4 stadia spánku bez snů spánek se sny - REM Tato stadia jsou charakterizována následujícím způsobem: - přechodné stadium: alfa aktivita (8-12 Hz) a

smíšená nízko- voltážní frekvence EEG (některé osoby v tomto stadiu nemají alfa rytmy) - stadium I - relativně nízká voltáž (maximum aktivity 2-7 Hz) - stadium II - vlnové výkyvy až 12-14 Hz, příp. negativní vlny ihned následované pozitivními - stadium III - 20-50% relativně vysokovoltážové vlny 2 Hz či méně - stadium IV - více než 50% relativně vysokovoltážových vln 2 Hz či méně - REM stadium připomíná stádium přechodné a je spojeno s rychlými pohyby očí (rapid eye movements), je zaznamenáván i snížený elektromyogram (EMG) Jako normální spánek je charakterizován monofázický spánek, lokalizovaný v nočním období o délce cca 7,5 hodin. Následující obr. č. 79 ukazuje výsledky sledování spánku u pokusné osoby tři po sobě jdoucí noci. Z tohoto obrázku je patrné, že v průběhu noci se mnohokrát vystřídají spánková stadia (průměrně u mladších osob až 32x!).

WEBB (1971) uvádí zajímavé porovnání údajů ze dvou laboratoří pokud jde o zastoupení jednotlivých fází spánku - viz obr. 80. Výsledky ze dvou laboratoří se až nápadně shodují. Zajímavé rovněž je, že REM fáze je prakticky neovlivněna předchozími stresy, včetně izolace. S věkem v širokém rozmezí od cca 2 do 70 let se poněkud mění zastoupení jednotlivých fází spánku a to poklesem stadia 4 a REM a naopak vzestupem O - 1 - 2 stadia - viz obr. č. 81.

8. ZÁVĚRY

Problematika biorytmů a jejich závislosti na rytmech vnějších faktorů je velice složitá a je proto obtížné shrnout její hlavní závěry do několika stručných odstavců. Celá tato problematika probíhá také určitým vývojem, tak jak se rozšiřovaly naše znalosti a také možnosti pozorování. Dá se stručně říci, že rytmické děje ve vnějším prostředí vyvolávají v organismu odezvu, která se rovněž projevuje jako děje rytmické. Kolísání hodnot různých ukazatelů látkové přeměny a funkcí v organismu má pravidelný rytmus, kdy za určitou časovou jednotku se uskuteční jeden cyklus, při kterém se hodnoty pohybují od nejnižší hodnoty k nejvyšší a opět k výchozí úrovni. Že existuje nějaký vzájemný vztah mezi rytmicitami vnějších podmínek a rytmicitami jevů v organismu je tedy jasné. Není však jasné, zda toto působení je *přímé*, zda o vztahu je možné hovořit pokud jde o fylogenezi nebo také v ontogenezi a také nejsou příliš jasné mechanismy, kterými by se vliv externích podmínek uplatňoval. Začátek podrobnějšího pozorování těchto rytmických dějů v organismu můžeme hledat (i když nebudeme počítat některá nepochybná pozorování našich předků v pravěku) již před velmi dlouhou dobou. Již před naším letopočtem popsali ve starém Římě někteří autoři třeba změny velikosti ovárií jezevok na fázi měsíčního cyklu. Za začátek skutečně vědeckého pozorování jsou považovány studie z 18.- tého století, zejména práce De MARAINA. Ten totiž analyzoval dlouho známý jev, že se některé rostliny otáčejí svými listy za Sluncem a zjistil přitom, že tyto pohyby pokračují i v naprosté tmě. Z jeho pozorování se odvíjela dlouhá řada dalších studií, které znalosti o faktorech ovlivňujících pohyby listů dále a dále rozšiřovaly. Zejména práce cca od dvacátých let tohoto století, s nesrovnatelně většími možnostmi metodickými daly základ novému oboru - **chronobiologii**. To se již také ukázalo, že rytmických dějů v organismu existuje mnoho, že se týkají všemožných pochodů a že je možné je pozorovat u všech živých organismů od nejjednodušších po člověka konče. Vznikla pochopitelně otázka vzájemných vztahů rytmických změn vnějšího prostředí - **rytmů exteriálních** - a rytmů probíhajících v živém organismu, tj. **biorytmů**. V prostředí kolem nás se různé podmínky neustále mění, při čemž podstatná část těchto změn probíhá rytmicky. Týká se to základních podmínek pro náš život, jako je světlo, teplota, atmosférické podmínky i změny další. Podkladem těchto změn ve vnějším prostředí jsou právě vlivy, které můžeme nazvat kosmickými - tj. otáčení Země kolem vlastní osy, oběhy Slunce, změny vyplývající z pohybu Měsíce kolem Země a pod. Tyto vlivy se projevují změnami v intervalu cca 24-hodinovém (interval jedné otočky Země kolem vlastní osy), cca 28-denním (interval vyplývající z pohybu Měsíce kolem Země) či cca ročním (interval jednoho pohybu Slunce vzhledem ke hvězdám). Uvedené hlavní změny se navzájem kombinují a odrážejí se v řadě vnějších podmínek, jako je právě světlo, teplota a pod. Uvedené časové intervaly jsou pochopitelně pouze některými z možných rytmických změn vnějšího prostředí - těchto změn je daleko více a jejich rozsah je daleko větší, než je uvedeno. Tak např. v důsledku působení Měsíce na hladinu moře se dvakrát denně projevují přílivové a odlivové vlny, které jsou velice důležitým časovačem pro živočichy pobřežní zóny. Obdobně existují intervaly, které jsou odvozeny od měsíčních fází, sezón roku a pod. Část rytmických změn se vzhledem k časovému

intervalu, ve kterém probíhají, ani uplatnit nemůže, protože např. na změny probíhající ve zlomcích sekund a naopak v intervalech trvajících desítky až desítky tisíc let ani organismus nějak reagovat nemůže. Uplatňují se proto zejména ty změny, které leží uprostřed mezi oběma krajními mezemi, jako jsou právě uvedené hlavní rytmické externí změny. Podle intenzity, se kterou externí změny na organismus působí, resp. je synchronizují (proto **synchronizátory!**) je dělíme na tři základní skupiny : - *dominantní* (např. světlo, teplota, potrava či zvukové pod- něty) - *slabé* (atmosférické podmínky) - *jemné* (gravitace, elektromagnetické síly, kosmické záření) Původně se předpokládalo, že slabé a jemné externí vlivy se mohou uplatňovat pouze v případě, že nemohou působit (nebo jsou na setrvalé úrovni) dominantní externí vlivy. Ukázalo se však, že to zdaleka tak jednoduché není, protože slabé i jem- né vlivy mohou ovlivňovat výrazným způsobem působení vlivů dominantních. Ze všech externích rytmicit se zřejmě nejvýraznějším způsobem uplatňuje rytmicita světla, ať již svými změnami v průběhu dne, sezony roku či v kombinaci obou těchto fakto- rů. Prakticky stejně důležitá je však teplota, která může vliv světla nahradit. Řídké nejsou také případy toho, že růz- né děje v organismu jsou ovliv- ňovány různými vlivy - jeden je ovlivněn světlem, druhý pak teplotou. Nejsou vyloučeny ani případy, že jeden děj je ovlivňován světlem ale jeho začát- kem, zatím co druhý opět světlem, ale jeho zhasnutím. V obou případech se předpokládá existence dvou oscilátorů, na které pak mohou působit různé vlivy. Názory na to, jakým způsobem se uplatňuje vliv externích rytmů na rytmicitu různých biologických jevů a pochodu se postupně měnily. Dlouhou dobu se předpokládalo, že biorytmy jsou přímo závislé na rytmech externích. Pak, jak se postupně prokazovala relativní stabilita biorytmů i v podmínkách, kdy externí rytmy se nemohou uplatňovat (jsou udržovány na kons- tattní úrovni a pod.), přešlo se k opačnému extrému - před- pokládalo se naopak, že biorytmy možná v průběhu fylogeneze nějak ovlivňovány byly, nyní již jsou ale stabilní a externí- mi rytmy neovlivnitelné. V současné době většina badatelů předpokládá, že většina biorytmů je skutečně spíše **endogenních**, tj. že se projevují i při změnách či naopak stabilních externích rytmicitách. Pouze u části biorytmů je možné pozorovat přímou závislost na externích rytmech, v tom případě by se dalo hovořit o rytmech **exogenních**. Prakticky pouze skupina BROWNA stále předpokládá, že na řízení biorytmů se vnější podmínky neustále výrazně podílí. Vzhledem k tomu, že se většinou nepodařilo prokázat nějaký vliv externích faktorů známých, předpokládá BROWN se svými spolupracovníky nějaký dosud neznámý faktor - faktor X. I BROWN sám je si však vědom, že se tímto faktorem X nedá vysvětlit většina pozorovaných biorytmů, v každém případě je však správné, že se tímto způsobem upozorňuje na možný význam i jiných vlivů prostředí. Biorytmy se nesporně uplatňují jako "biologické hodiny", které umožňují nejen orientovat se v místním čase (resp. čase universálním!), ale určovat i délku určitého časového období, týkajícího se např. délky osvětlení. Tato BÜNNINGOVA předsta- va z poloviny třicátých let se zprvu zdála absurdní a proto byla převážnou částí vědců odmítána. Koncem čtyřicátých let však význam biorytmů pro orientaci nejen v čase, ale i v pros- toru ukázaly nálezy řady vědců, v čele s klasiky von FRISCHEM a KRAMEREM. V této oblasti již mnohé víme, obrovská suma otá- zek však stále čeká na zodpovězení. Vnější podmínky se jistě určitým způsobem při regulaci biorytmů uplatňují - je pouze otázka, zda je skutečně **synch- ronizují** (proto se vnější podmínky nazývají často **synchroni- zátory**) či zda je pouze určitým způsobem **modifikují**, mění např. fáze rytmy, délku cyklu mění pouze v určitém rozme- zí a pod. Z této otázky vyplývají otázky další, první z nich se týká mechanismu, kterým jsou biorytmy udržovány a z toho vy- plývá podotázka, jak se při tom mohou uplatnit vnější podmín- ky. Na tuto otázku odpovídá nejlépe teorie **oscilátorů** v orga- nismu, které jsou v organismu jako součást regulačních mecha- nismů se zpětnou vazbou. První část těchto mechanismů může zachycovat změny vněj- ších podmínek a reagovat na tyto změny svou eferentní částí. Dobře si to můžeme představit např. u mechanismů se zapojením nervové soustavy, např. u retino - hypotalamické osy. Ta se nesporně účastní regulace různých sexuálních cyklů u vyšších obratlovců. Předpokládá se významná úloha tzv. **pineální žlázy**, která je považována u ptáků a savců za centrum cirkadiánní rytmici- ty a je v tomto směru nadřizena ostatním oscilátorům, při

čímž tento svůj vliv vykonává prostřednictvím svého hormonu - **melatoninu**. Uvedené mechanismy, ať již retino - hypotalamický či pi- neální žláza, však představují nejvyšší formu regulace, ryt- micitu však nacházíme i u nejjednodušších organismů. Je tedy nutné předpokládat, že řízení rytmicity je na nižší úrovni, společně všem živým organismům, od nejjednodušších až třeba po člověka. Zde přichází vysvětlení, že samotný základ řízení rytmicity je na úrovni buněčné resp. subbuněčné, tedy na příklad na úrovni buněčné membrány a vyšší formy regulace znamenají pouze zdokonalení regulace o další etáž resp. etá- že. Otázkou ovšem stále zůstává, zda tyto mechanismy jsou řízeny zvnějšku či zda regulace je přímo v organismu a vnější faktory se mohou uplatňovat pouze jako jeden z faktorů ryt- mické pochody modifikujících. Pro první představu, tj. řízení zvnějšku, mnoho přímých dokladů neexistuje - hovořili jsme již o skupině prof. BROWNA. Většina dokladů spíše hovoří o vnitřním charakteru mechanismů řídících rytmicitu různých pochodů v organismu. Tomu nasvědčují i výsledky pokusů von FRISCHE či KRAMERA a řada dalších sledování. Většina nálezů tedy se zdá nasvěd- čovat *endogennímu* charakteru rytmických dějů. Tomu nasvědčují i takové nálezy, které svědčí pro dědičnost rytmických změn, projevující se tím, že se určité biorytmy dostávají u potom- tva, žijící v odlišných podmínkách a pod. Existuje ovšem hypotéza, která se jeví dost pravděpodob- ná, že neexistuje zásadní rozdíl mezi endogenními a exogenními biorytmy. Biorytmy by se lišily pouze svojí stabilitou proti měnícím se podmínkám - na jedné straně by tedy byly velice stabilní biorytmy, prakticky se neměnicí a na druhé naopak biorytmy značně plastické. Mezi těmito extrémny by ležela ply- nulá škála biorytmů. Tato hypotéza je do značné míry v soulase s dvěma pro- tikladnými požadavky na organismus v zájmu jeho přežití - na jedné straně zachovávat si v určitém rozsahu vnitřní prostře- dí neměnné, na druhé pak přizpůsobovat se měnícím se podmín- kám prostředí. Studium biorytmů není však pouze zajímavou otázkou zák- ladního výzkumu, tedy otázkou ve své podstatě pouze academic- kou. Dobrá znalost biorytmů je předpokladem veskrze praktic- kých činností - např. jde o otázku výnosu důležitých rostlin, boje proti hmyzím škůdcům, zajištění vhodného rozsahu rybolo- vu a pod. Pokud jde o člověka, znalosti z chronobiologie přispíva- jí k diagnostice a léčbě různých onemocnění, správnému dávko- vání léčiv, v otázkách pracovní výkonnosti atd. Řada sledová- ní patřících na rozhraní fyziologie, hygieny práce a psycho- logie, že se rytmicita uplatňuje i v oblasti mentální výkon- nosti resp. vyšší nervové činnosti. Zajímavé studie provedené zejména KLEITMANEM, BLAKEM a COLQUHOUNEM přitom prokazují řa- du zajímavých skutečností. Tak např. byl zjištěn rozdíl v mentální výkonnosti v různých částech 24-ti hodinového cyklu, což se týká různých směn (ranní, odpolední a noční). Stejně tak byla prokázána existence dvou základních lidských typů podle maxima výkon- nosti buď v průběhu dne či naopak večer až v noci. Zajímavé jsou i detailní studie spánku (resp. jeho dep- rivace), které rovněž prokazují výraznou úlohu rytmicity dů- ležitých pochodů v psychické oblasti. Celkově je tedy možné říci, že i v oblasti mentální výkonnosti a činnosti hrají zřejmě biorytmy důležitou úlohu. Důležitost znalostí biorytmů má velký praktický význam také při adaptaci na změněné podmínky ať již dané rychlou změnou zeměpisné polohy (cestování a následný pobyt) nebo tak zásadní změnou, jako nesporně jsou kosmické lety. Vzhledem k pesimistickým prognózám některých ekologů, pokud jde o dlouhodobé podmínky pro život na naší Zemi, před- stavují kosmické lety, které jsou prozatím pokládány za urči- tý luxus a jsou proto omezovány nejen v Rusku ale i v USA, možná jedinou únikovou cestu na jiné vhodné planety. Je to možná extrémní příklad významu znalosti biorytmů, ale i v tomto případě - při kosmických letech - je rozšíření na- šich znalostí o biorytmech více než oprávněné. Ze všech těchto důvodů je proto další studium biorytmů a jejich vztahů s rytmicitou externích rytmů nezbytný a bude mít, přes obrovské pokroky, kterých bylo zejména v posledních desetiletích dosaženo, i nadále své zdůvodnění.

Literatura: Aschoff, J. et al. : Circadian Clocks, Amsterdam, 1965 Berger, J. : Biorytmy, Paseka, 1995 Colquhoun, W. et al. : Biological Rhythms and Human Performance - Acad.Press, London+N.York, 1971 Illnerová, H. : J.Clin.Endocr.Metab. 77,838, 1993 Petrásek, R. : Fyziologie rytmických změn, PřF MU Brno, 2001