

měří intenzitu zátěže vznikající při pohybu – takzvané kutikulární orgány. Jde o štěrbiny v podélné ose končetiny, které se při zátěži deformují a mění aktivitu nervových vláken. Podobné orgány mají i jiné organismy se zevní kostrou – pavoukovci a koryši.

Dvoukřídly hmyz (mouchy) využívá ke vnímání pohybu těla za letu vahadlové orgány (zakrnělá zadní křídla) na které působí excentrické síly vznikající při otáčení těla. To jim umožňuje velmi rychlé změny směru letu a propůjčuje to mouchám akrobatické schopnosti např. létání nohama vzhůru. Vibrace křídélků umožňují mouchám udržovat rovnováhu a rychle reagovat na změny směru. Jsou vybaveny smyslovými vlásky, které monitorují polohu těla mouchy a rychlost jejího letu. Mouchy zbavené vahadlék ztrácí schopnost létat (Bender et Frye, 2009).

Jiný systém percepce polohy se vyvinul u koryšů. Jeho konstrukce je zvláště dokonalá u krabů. Jde o pohyblivé živočichy s komplikovaným řízením očních pohybů – oči jsou na stopce a pohyblivé jednotlivě. Stabilizace pohledu během pohybu krabů v prostoru tak představuje složitý úkol, který vyžaduje přesnou percepce polohy, kterou zajišťuje párový orgán složený ze dvou polokruhových kanálů a dvou makul. Jde o orgán velmi podobný labyrintu obratlovců i statocystě hlavonožců.

Tyto smyslové systémy ale vznikly na sobě nezávisle – paralelní vývojové linie (Sandeman et Okajima, 1972).

Vývoj smyslu rovnováhy u obratlovců

Ve fosilních záznamech se zachovaly zka-meněliny štítnatců, bezčelistnatých obratlovců, kteří již měli vestibulární systém vyvinutý. Jejich asi 500 milionů let staré fosilie z období prvohor jsou známy i od nás. Jejich primitivní vestibulární orgán je složený ze dvou kanálků (Janvier, 2008).

Nejprimitivnější labyrint mezi obratlovcy mají sliznatky (Myxina), jde o mořské organismy podobné mihulím. Jejich labyrint je složen z jediného cirkulárního kanálku ve vertikální rovině, který obsahuje dvě řady vláskových buněk bez kupulárního orgánu.

Pokročilejší jsou mihule (Petromyzontiformes), které mají podobně primitivní orgány vnitřního ucha jako štítnatci – jejich

labyrint obsahuje dva polokruhové kanálky a sluchový váček, lagénu.

Ryby mají již plně vyvinutý labyrint se třemi polokruhovými kanálky, utrikulárním a sakulárním váčkem, který ale není zcela oddělen od lagény. U ryb a dalších organismů s chybějícím krkem (tedy nepohyblivou hlavou) jsou relativně menší horizontální polokruhové kanálky, které jsou stimulovány laterální rotací hlavy, která je u nich omezená.

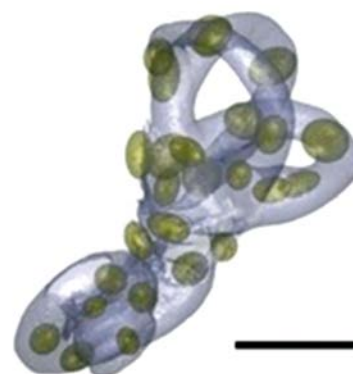
U obojživelníků má vestibulární aparát anatomické uspořádání i funkční význam shodný jako u člověka. Proto se využívají při výzkumu fyziologie rovnovážného systému.

Největší změny prodělává sluchová část labyrintu vnitřního ucha. Původní lagéna se prodlužuje do chodbičky, která se postupným stáčením mění v kochleu.

Mnoho zajímavostí přineslo studium vestibulárního systému u dinosaurů. Ve zkamenělinách dinosaurů se labyrint zachoval velmi dobře. V poměru k velikosti mozku jsou rozměry labyrintů velké a lze je studovat detailně. Anatomie labyrintu umožňuje usuzovat na způsob života a pohybovou aktivitu dinosaurů.

CT měření rozměrů polokruhových kanálků u 26 druhů dinosaurů zjistilo korelaci velikosti vertikálních kanálků, zvláště předního, s předpo-

Obr. 1. Přehled bodů ve kterých se provádělo měření 3D CT na labyrintu:



kládanou hmotností hlavy. Tato veličina dokázala spolehlivě rozlišit, zda se jedná o druh s bipedální versus tetrapodní lokomocí. Koreluje tedy se způsobem života, při chůzi po zadních nohou je větší vertikální pohyb hlavy a stabilizace pohledu vyžaduje korekci postavení očí. To zvyšuje nároky na citlivost vertikálních kanálků. Naproti tomu velikost a postavení horizontálních kanálků koreluje lépe s délkou lebky, protože síly působící na horizontální kanálek při otáčení hlavy do stran závisí více na vzdálenosti kanálku od okcipitálních kloubů než na hmotnosti hlavy (Georgi et al., 2013; Paulina-Carabajal et al., 2016).

Kostěný labyrint uvnitř skalní kosti na spodině lebky je dobře zachován i ve fosilním

Obr. 2. Hlavním motorem vývoje labyrintu byl přechod předků člověka ze života na stromech k pohybu na zemi a vznik dvounohé chůze u moderních lidí. Tím došlo také ke změně držení hlavy a úpravě polohy labyrintů. Zajímavé je srovnání nejbližších příbuzných: moderního člověka a neandrtálce

Korelace mezi geografickou vzdáleností na ose x a změnami labyrintu (červeně) a genetických změn (modře). Obě korelace jsou prakticky stejné. Písmena označují geografickou lokalizaci vzorků:

