

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Speciálně chemicko-biologické obory

Studijní obor: Molekulární biologie a biochemie organismů



Markéta Thořová

Struktura a funkce síní u obratlovců - srovnávací pohled

Atrial structure and function in vertebrates – comparative approach

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Prof. MUDr. David Sedmera, DSc.

Praha, 2023

Charles University
Faculty of Science

V úvodu bych chtěla poděkovat svému školiteli prof. MUDr. Davidu Sedmerovi, DSc. za jeho ochotu, připomínky, rady a trpělivost při vedení této bakalářské práce. Mé poděkování patří také rodině, příteli a kamarádům, kteří mě nejen při psaní práce, ale také po celou dobu studia podporovali.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů na základě konzultací se svým školitelem. Také prohlašuji, že tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V dne

Markéta Thořová

Název práce: Struktura a funkce síní u obratlovců – srovnávací pohled

Autor: Markéta Thořová

Vedoucí bakalářské práce: prof. MUDr. David Sedmera, DSc., 1.LF UK, Anatomický ústav

Abstrakt: Srdeční síně jsou nevelké dutiny, které slouží k příjmu, uskladnění a následnému pumpování krve do srdečních komor. V průběhu evoluce dochází k změnám srdečních síní i celého srdce z jednoduché srdeční trubice až po komplikovaný čtyřdutinový orgán, jehož rytmus a funkci lze zaznamenávat pomocí neinvazivních metod. Čtyřdutinový orgán lze nalézt u savců a ptáků, kteří patří do skupiny endotermů, ale také u ektotermních krokodýlů. U člověka jsou zajímavé hlavně struktury síňových přívěsků, takzvaných oušek, která se mohou u jedinců svým tvarem lišit. Třídutinový orgán lze nalézt u plazů a také u obojživelníků, kde jsou patrné dvě síně a jedna komora. Komora je sice pouze jedna, ale díky své houbovité struktuře dochází k minimálnímu mísení různých typů krve. Srdce pouze se dvěma dutinami mají ryby. I přes rozdílnou konečnou strukturu srdce napříč jednotlivými druhy obratlovců jsou patrné společné rysy, které jsou považovány za zásadní pro zajištění normálních funkcí, například hřebenité svaly. Poznatky vyplývající z této práce mohou přispět k dalšímu výzkumu zejména v kontextu evoluce, fyziologie a patologie.

Klíčová slova: srdeční síně, hřebenité svaly, kontraktilita, šíření vzruchu, EKG

Title: Atrial structure and function in vertebrates – comparative approach

Author: Markéta Thořová

Supervisor: prof. MUDr. David Sedmera, DSc., 1.LF UK, Institute of Anatomy

Abstract: The atria are small cavities that receive, store, and then pump blood into the heart chambers. Throughout evolution, the atria and the whole heart have developed from a simple heart tube to a complex four-cavity organ whose rhythm and function can be observed by non-invasive methods. The four-cavity organ can be found in mammals and birds, which belong to the endothermic group, but also in ectothermic crocodiles. In humans, the structures of the atrial appendages, the so-called ears, are of particular interest and may vary in shape between individuals. A three-lobed organ can be found in reptiles and also in amphibians, with two atria and one chamber. Although there is only one chamber, its spongy structure minimizes the mixing of different blood types. Fish have a heart with only two cavities. Despite the differences in the final structure of the heart across vertebrate species, there are common features that are considered essential to ensure normal functions, such as the pectinate muscles. The knowledge arising from this work may contribute to further research, particularly in the context of evolution, physiology, and pathology.

Keywords: atrium, pectinate muscles, contractility, electrical impulse propagation, ECG

Obsah

1 Úvod	1
2 Vlastní řešení	3
2.1 Vývoj a obecná stavba srdce	3
2.1.1 Vývoj srdce	3
2.1.2 Obecná stavba srdce	5
2.2 Stavba síní savců	8
2.2.1 Hlodavci	9
2.2.2 Kopytníci	10
2.2.3 Šelmy	11
2.2.4 Člověk	11
2.3 Stavba síní ptáků	14
2.4 Stavba síní plazů	16
2.4.1 Srdce krokodýlů	16
2.4.2 Nekrokodýlí plazí srdce	18
2.5 Stavba síní obojživelníků	19
2.6 Stavba síní ryb	21
2.6.1 Chrupavčité	22
2.6.2 Kostnaté	22
2.7 Dvojdyšné	22
3 Diskuze	24
4 Závěr	26
Literatura	28
Seznam obrázků	33

Kapitola 1

Úvod

Srdce patří mezi nejdůležitější orgány těla živočichů a společně s kardiovaskulárním systémem se podílí na udržování základních životních funkcí. Z anatomického hlediska lze srdce popsat jako několika dutinový orgán se schopností vlastní automacie, v němž každá dutina plní určitou funkci. Z dutin lze v srdci najít síně a komory.

Srdeční síně, svrchu zobrazeny na Obrázku [1.1](#), patří společně s komorami mezi hlavní dutiny srdce všech obratlovců a představují klíčovou součást jejich kardiovaskulárního systému. Srdce je orgán, který se vyvíjí souběžně s obratlovci a během evoluce se přizpůsobil jejich specifickým potřebám. Síně jsou společně s komorami zodpovědné za správný tok krve, příjem, uskladnění a následné pumpování krve přivedené buď z celého těla nebo pouze z plic, a přenos živin do různých částí těla, což je zásadní pro zachování životních funkcí. Struktura a velikost těchto dutin je různá u jednotlivých druhů obratlovců, obecně ji však můžeme popsat jako tenkostěnný útvar, jehož stěny jsou často zpevněny pomocí hřebenitých svalů, které také do jisté míry slouží jako podpůrné struktury převodního systému. Na rozdíl od komor však o stavbě a funkci v dnešní době není známo tolik. Příčinou může být jednak menší velikost, nebo také struktura stěny síní, která při zkoumání většinou nedrží tvar a rychle kolabuje. Srdeční síně jsou však nepostradatelnou součástí srdce a mohou být také častou příčinou srdečních potíží spojených se vznikem trombů či nedostatkem hormonů produkovaných právě v této části. Z tohoto důvodu by znalost struktury a funkce byla výhodná pro omezení některých srdečních problémů.

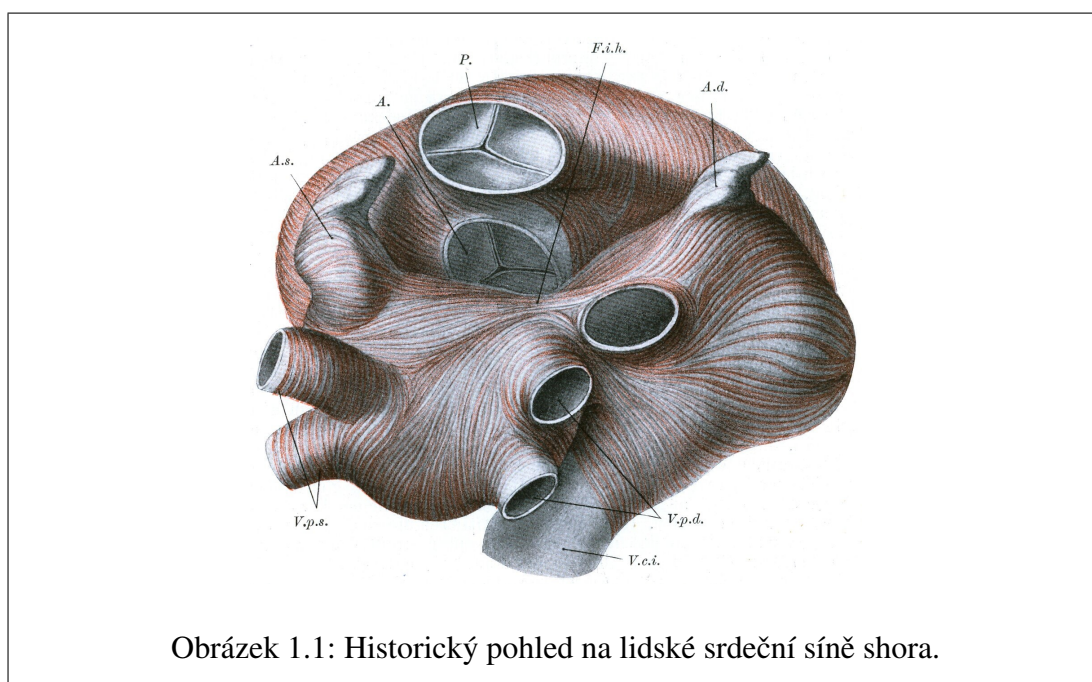
Strukturu srdce a srdečních síní u obratlovců lze pozorovat pomocí hned několika metod. Mezi základní patří hlavně neinvazivní elektrokardiografie (EKG) a echokardiografie (ECHO).

Analyzování EKG u obratlovců je důležité pro identifikaci srdečních abnormalit, jako jsou arytmií, srdeční bloky a jiné srdeční patologie. Poruchy srdečních síní mohou vést k narušení srdečního rytmu a ovlivnit celkovou srdeční funkci obratlovců. Díky EKG lze včas detekovat problémy a zahájit vhodnou léčbu, což má významný dopad

na zdraví a kvalitu života těchto živočišných skupin.

ECHO srdečních síní umožňuje detailní zobrazení srdce a jeho struktur, včetně síní, komor, chlopní a cév. Díky tomu lze sledovat kontrakci síní, posouzení toku krve a hodnotit celkovou srdeční funkci. Tato technika je důležitá pro detekci abnormalit srdečních chlopní, srdečních selhání, srdečních bloků a srdečních anomálií. Pro provedení echokardiografie u obratlovců jsou k dispozici různé metody, které umožňují přesnou vizualizaci srdečních struktur.

Tato bakalářská práce se zabývá obecnou anatomickou a fyziologickou stavbou srdce a srdečních síní u vybraných skupin obratlovců, mezi které patří ryby, obojživelníci, plazi, ptáci a savci včetně člověka. Hlavním cílem práce je porovnat různé adaptace srdečních síní v rámci těchto skupin obratlovců a porozumět jejich fyziologickým funkcím. Pozornost také bude věnována změnám srdečních síní ve vztahu k životnímu stylu dané skupiny obratlovců. Tento přehled popisuje oběhové čerpací systémy používané u různých tříd obratlovců, jejich výhody a nedostatky a způsob, jakým byly modifikovány evolucí. Výsledky této práce by mohly přispět k lepšímu



porozumění srdečních síní obratlovců a jejich vztahu k fyziologii těchto skupin. Díky poznatkům o stavbě a funkcích síní mohou posloužit i jako základ pro další výzkum v oblasti srdečních onemocnění u obratlovců, kde dochází k poruchám stavby těchto dutin či jejich funkcí, a přispět k vývoji nových terapeutických přístupů k léčbě těchto stavů. Závěry této práce by dále mohly být využity v dalším studiu evoluce srdečního systému u obratlovců. K dosažení těchto cílů bude práce založena na komplexním přehledu dostupné literatury, včetně vědeckých článků, knih a online zdrojů. Budou využity studie, které se zabývají anatomickou a fyziologickou strukturou srdečních síní.

Kapitola 2

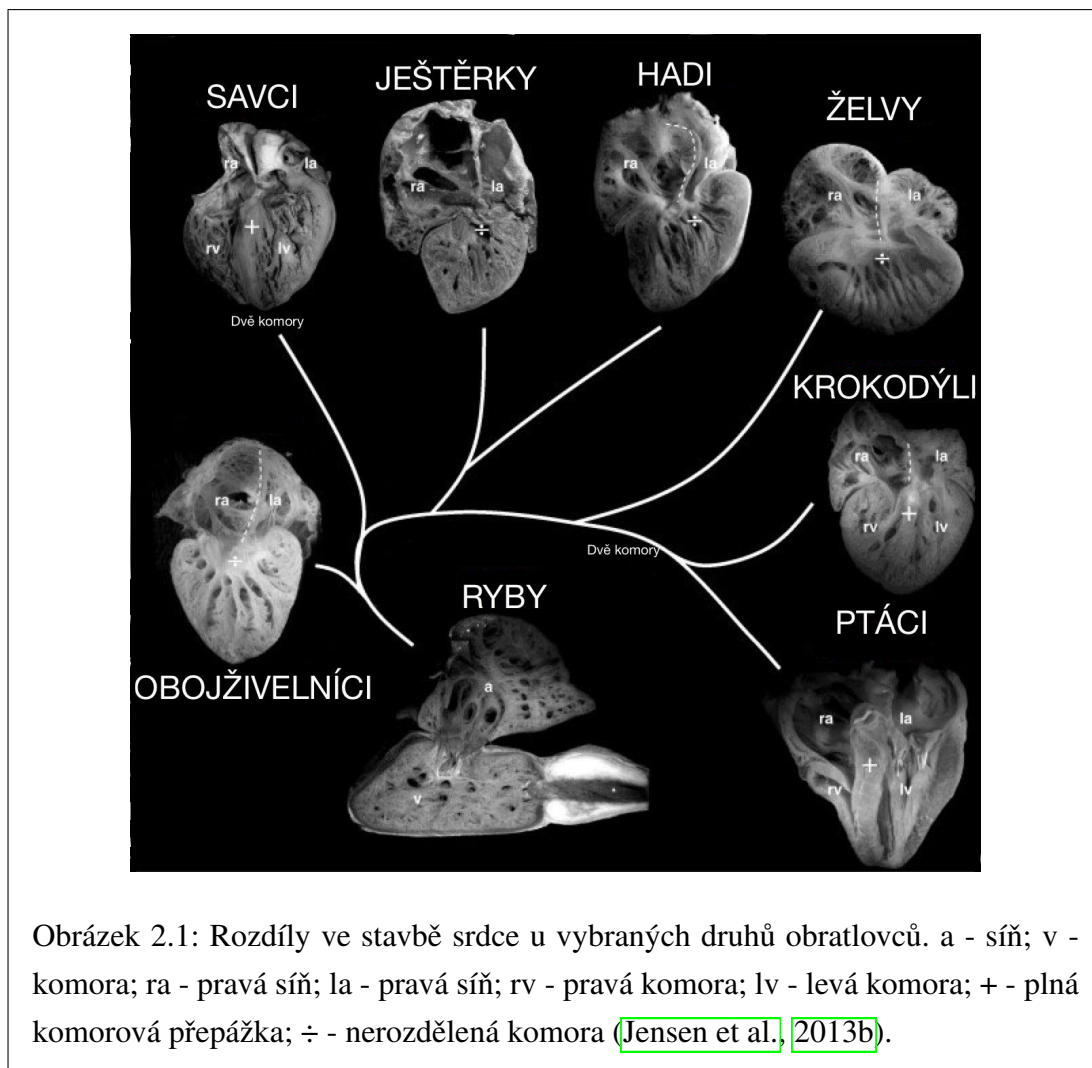
Vlastní rešerše

Tato kapitola je koncipována následovně. Na začátku bude popsán vývoj společně s obecnou stavbou srdce. Dále je netypicky v obráceném pořadí evoluce uspořádaný popis srdečních typů a srdečních síní u vybraných jedinců ze skupiny obratlovců. Nejdříve se zaměříme na savce z důvodu většího dopadu na aktuální studie spojené s výzkumem srdce a srdečních chorob u člověka. Ze skupiny savců budou zmíněny konkrétně hlodavci, kopytníci, šelmy a člověk. Poté následuje skupina ptáků, plazů, obojživelníků, ryb a kapitola je zakončena popisem skupiny dvojdyšných.

2.1 Vývoj a obecná stavba srdce

2.1.1 Vývoj srdce

Srdce je jako svalnatý dutý orgán považován za centrum oběhového systému, jehož primární funkcí je pumpování krve. První orgán podobný srdci se objevil před více než 500 miliony lety a během svého vývoje prošel mnoha různými změnami. Primitivní plán pro srdce a oběhový systém se objevil s příchodem třetí mezodermální zárodečné vrstvy u bilaterálů (Stephenson et al., 2017). Časný vývoj zahrnuje vytvoření jednovrstevné srdeční trubice, následné ohýbání této trubice a vytvoření komor. Tyto počáteční procesy jsou velmi podobné všem obratlovcům, což naznačuje evoluční podobnost stavebního plánu srdce (Jensen et al., 2013b). Postupem času prošel kardiiovaskulární systém anatomickými a funkčními změnami a ze srdeční trubice vznikl velmi komplikovaný čtyřdutinný systém. Původně hladká stavba srdeční trubice se během vývoje mění ve strukturu s velkým množstvím svalových trámčů, které výrazně zvětšují vnitřní plochu srdce (Wagner & Siddiqui, 2007). Srdce obratlovců je anatomicky i fyziologicky specifické pro jednotlivé živočišné druhy, viz. Obrázek 2.1, ale funkce je u všech druhů velmi podobná. Geny izolované z druhu medúzy *Podocoryne carnea* u nichž bylo prokázáno, že hrají roli v myogenezi jsou považovány za prvotní počátky srdce a oběhového systému (Stephenson et al., 2017).



Za srdce prvních obratlovců je považována kontraktilní céva, jejíž kontraktilita zajišťovala rozvod tekutiny za výskytu nízkých tlaků. U kopinatce, kterého lze považovat za předchůdce prvních obratlovců nelze najít jednotnou kontraktilní cévu, ale pouze shluky kontraktilních buněk v mnoha částech těla (Simões-Costa et al., 2005).

U ryb, které stojí na počátku evoluce obratlovců, se následně vyvinulo srdce s jednou trabekulizovanou komorou a jednoduchou síní. Změny počáteční kontraktilní cévy na několika dutinový orgán byly u ryb umožněny systémem žaber, které slouží i dodnes u většiny ryb k dýchání. Následné přeměny srdce na tří až čtyřdutinový orgán byly spojeny se změnou dýchání pomocí plicních vaků. Z fyziologického hlediska lze říci, že obratlovcům, kteří využívají k dýchání žábry, prochází srdcem krev pouze odkysličená, kdežto u obratlovců s plicemi srdcem prochází již okysličená i odkysličená krev (Gaisler, 1983). Dokonalé rozdělení srdce ptáků a savců souvisí se vznikem endotermie a potřebou vysoké srdeční frekvence na udržení vysokého metabolismu pro celkové fungování organismu (Jensen et al., 2013b).

Obecně lze konstatovat, že existují dva základní návrhy srdeční soustavy a to systém

otevřený u bezobratlých živočichů a uzavřený obratlovců, které využívají komorového srdce k pumpování krve. Srdce obratlovců poté lze obecně rozdělit do tří základních skupin, mezi které se řadí srdce žilní, smíšené a čtyřdílné. Srdce žilní neboli venózní nalézáme u paryb, ryb a larev obojživelníků. Nachází se před dýchacími orgány a slouží k nasávání krve odkysličené z těla. Smíšené srdce je u zástupců ze skupin obojživelníků a plazů a slouží k současnému nasávání okysličené krve z dýchacích orgánů a krve odkysličené ze zbytku těla. U ptáků a savců je možné najít srdce čtyřdílné, které se podle typu krve procházející dutinami dělí na pravou a levou část (Stephenson et al., 2017).

2.1.2 Obecná stavba srdce

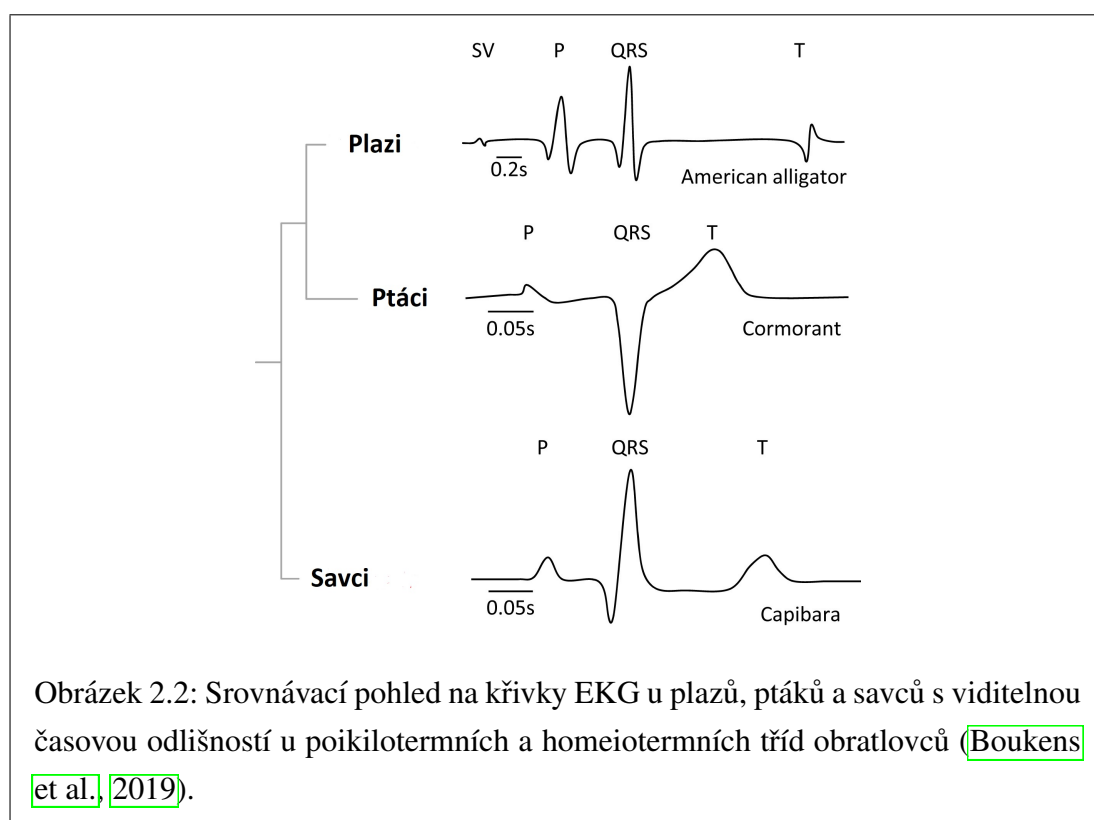
I přes vysoce rozdílné stavební plány srdce jednotlivých živočišných druhů, lze najít nezanedbatelné podobnosti ve vývoji, funkci a anatomii srdce. Srdce všech obratlovců jsou nezbytná hlavně díky zabezpečení rozvodu krve po těle, kdy srdce všech živočichů slouží jako pumpa, která přijímá krev o nízkém tlaku a za pomoci zvýšení tohoto tlaku pohání krev skrz systém. Srdci všech strunatců dává vznik embryonální disk. Vývojová stádia srdcí všech živočichů se navzájem podobají a rozdíly jsou poté až v další specifikaci, která je důležitá pro jedinečné funkce srdce. Společným znakem je i trabekulární uspořádání srdečních komor (Jensen et al., 2013b). Srdeční komora slouží k uskladnění a následnému vypuzení krve, která do ní byla přečerpána ze síně. Síň na rozdíl od komory slouží jako pumpa přečerpávající krev z těla do komorové části srdce. Její podstatnou část tvoří hřebenité svaly, které slouží hlavně ke zpevnění tenké stěny a také jako podpora pro hlavní cesty převodního systému (Sedmera & McQuinn, 2008).

Srdce je orgán, který není zcela závislý na centrálním nervovém systému, ale má svůj vlastní systém na tvorbu jednotlivých srdečních impulzů. I přesto je srdeční rytmus stále ovlivňován pomocí periferního nervového systému a to hlavně pomocí sympatiku a parasympatiku, které nestimulují, ale pouze ovlivňují srdeční impulzy. Vzruch srdce je generován v pravé síni pomocí sinusového uzlu, ze kterého se šíří přes síň do místa síňokomorové přepážky do atrioventrikulárního uzlu, kde je rychlost zpomalena. Dále je vzruch veden pomocí Hisova svazku do místa mezikomorového septa do Tawarových ramének a nakonec impulzy vstupují do Purkyňových vláken, která předávají vzruch do srdeční svaloviny, která na vzruch reaguje smrštěním (Moorman et al., 1998). Tato funkce srdce je zaznamenávána pomocí elektrokardiogramu (EKG).

Již od svého objevu v 19. století se EKG stal základním nástrojem pro hodnocení srdeční funkce nejen v medicíně a veterinární medicíně, ale také ve srovnávací fyziologii. Výhodou této metody je hlavně její neinvazivní provedení a relativně snadná aplikace. Při měření EKG zvířat se používá více elektrod, které dohromady tvoří více svodů, ale k interpretaci se nakonec využívá většinou svodu pouze jednoho. Naopak

při měření EKG člověka se využívá svodů hned několik za použití více elektrod. Více svodů může u člověka odhalit závažné srdeční poruchy, srdeční abnormality nebo infarkt myokardu.

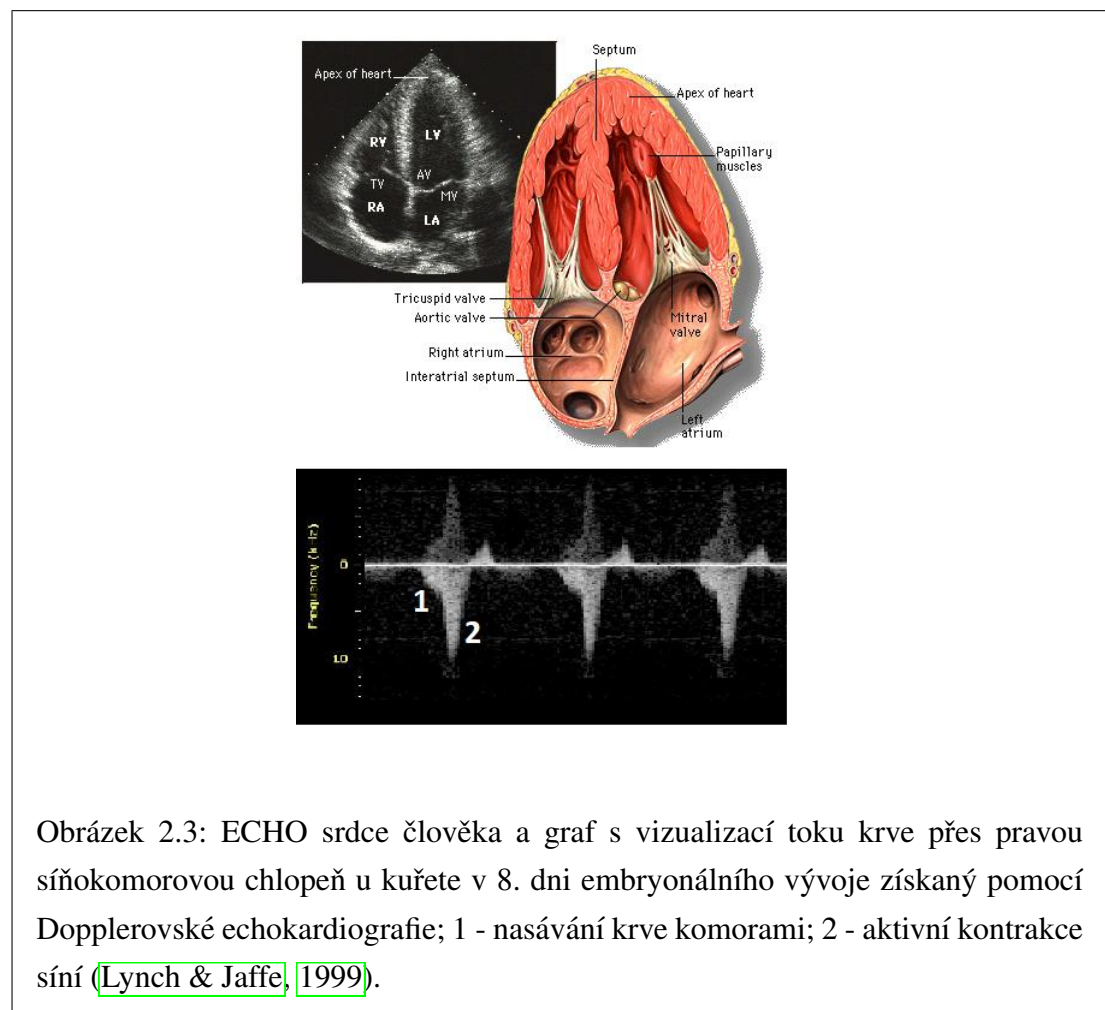
Srovnání EKG u obratlovců ukazuje, že aktivace a následná repolarizace srdeční komory je mnohem rychlejší u savců a ptáků ve srovnání s ektotermními obratlovcí podobné velikosti, viz. obr. 2.2. Obecně lze říci, že během evoluce došlo ke zrychlení srdeční frekvence. Výrazné je hlavně zkrácení intervalu PR, který zachycuje depolarizaci síní až po začátek depolarizace komor, a QT, který zaznamenává repolarizaci síní a depolarizaci spolu s repolarizací komor. Naopak zkrácení komplexu QRS představujícího depolarizaci komor a vlny P zaznamenávající depolarizaci síní, jsou napříč skupinami méně výrazné. Elektrokardiografické změny nejsou pouze důsledkem vysokých tělesných teplot a přítomnosti specializovaného převodního systému. Pravděpodobnou roli hrají také vnitřní elektrofyziologické vlastnosti kardiomyocytů a s ohledem na rychlosti komorového vedení i architektura husté tkáně (Boukens et al., 2019).



Funkci srdce je možné zaznamenávat také pomocí echokardiografie (ECHO). Jedná se o neinvazivní metodu, která využívá vysokofrekvenční ultrazvuk k hodnocení strukturního, funkčního a hemodynamického stavu kardiovaskulárního systému, viz. Obrázek 2.3. Výhodou této metody je vizualizace práce chlopní a stěn srdce v reálném čase. Hojně využívaná je metoda dopplerovské echokardiografie, která umožňuje zobrazení

průtoku krve srdcem v závislosti na čase a mechanické práci srdce. Funguje na principu Dopplerova efektu, kdy dochází ke změně frekvence ultrazvuku způsobenou průtokem krve (Coucelo et al., 1996).

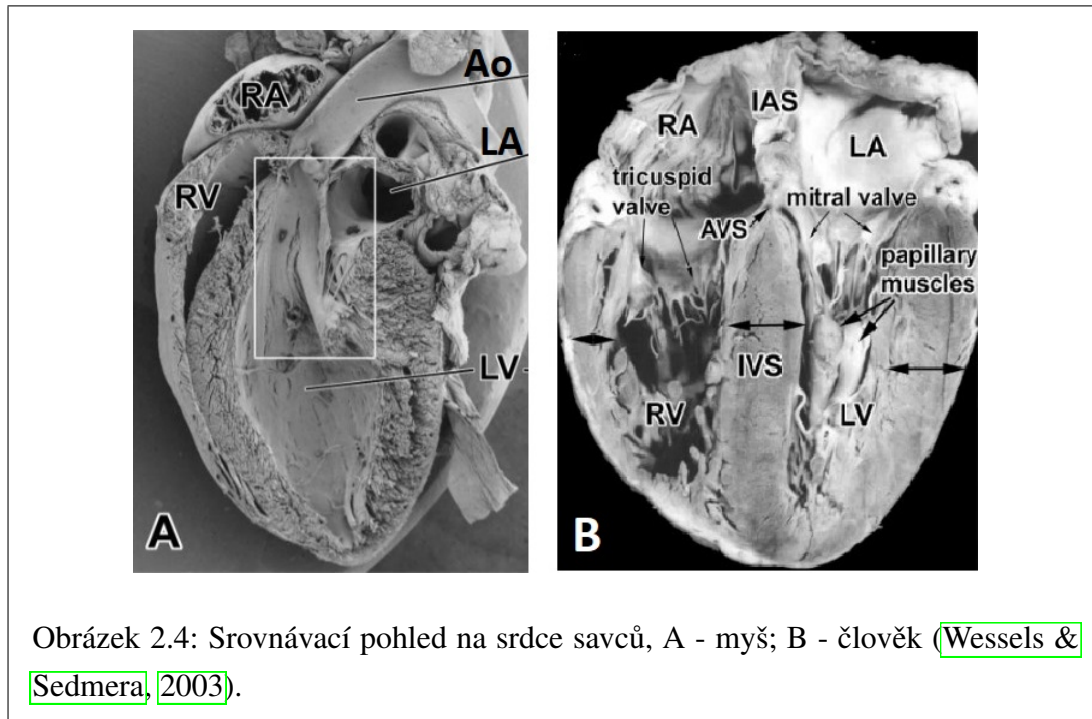
Jak EKG, tak ECHO jsou důležité metody pro diagnostiku a sledování srdečních onemocnění, ale každá metoda poskytuje jiný typ informací. EKG je rychlý a jednoduchý test, který poskytuje informace o elektrické aktivitě srdce, ale nezobrazuje strukturu srdce tak jako ECHO.



Obrázek 2.3: ECHO srdce člověka a graf s vizualizací toku krve přes pravou síňokomorovou chlopeň u kuřete v 8. dni embryonálního vývoje získaný pomocí Dopplerovské echokardiografie; 1 - nasávání krve komorami; 2 - aktivní kontrakce síní (Lynch & Jaffe, 1999).

Společnou pomůckou potřebnou k rozvodu elektrických impulzů generovaných sinoatriálním uzlem jsou kardiomyocyty, které jsou funkčně podobné u většiny obratlovců. I přesto se srdce jednotlivých druhů liší architekturou a přítomností či nepřítomností převodního systému srdečního, který nacházíme až u dobře vyvinutých srdcí. U ptáků a savců se nachází speciální struktura řídící rytmické kontrakce zvaný sinoatriální uzel. Se vznikem speciálního systému pro rozvod vzruchů srdcem vyšších obratlovců jsou spojena také Purkyňova vlákna, která předávají vzruchy přenesené atrioventrikulárním uzlem do svaloviny srdečních síní. Stěny srdce většiny živočichů jsou složeny z několika vrstev mezi které patří endokard, myokard a epikard (Park &

2.2 Stavba síní savců



Plán pro architekturu savčího srdce je víceméně univerzální viz Obrázek. 2.4, což má za následek podobnou základní formu srdce u všech druhů (Meijler & Meijler, 2011). Hlavní mezidruhové rozdíly srdce jsou způsobeny rozdílnou velikostí a tvarem jednotlivých živočichů (Meijler & Meijler, 2011). U savců se vyvinulo čtyřdílné srdce, které převážně slouží k oddělení jednotlivých typů krve. Původní jediná komora byla pomocí dokonale vyvinuté mezikomorové přepážky rozdělena na dvě komory samostatné. Hmotnost srdce savců představuje v průměru 0,6 procenta tělesné hmotnosti jedince. Sinus venosus se vyvinul a následně se přeměnil ve strukturu sinoatrálního uzlu ve stěně pravé síně. Průchod krve srdcem je přizpůsobený endotermnímu způsobu života, kdy nejprve přichází odkysličená krev přes horní a dolní dutou žílu do pravé síně. Z ní pokračuje přes trikuspidální chlopeň do pravé komory, ze které se dostává přes plicní chlopeň do plicního oběhu. Následně se okysličená krev vrací cestou plicních žil do levé síně srdeční a přes mitrální chlopeň odchází do levé komory. Z ní je poté tato okysličená krev rozváděna pomocí aorty do celého těla. (Stephenson et al., 2017)

2.2.1 Hlodavci

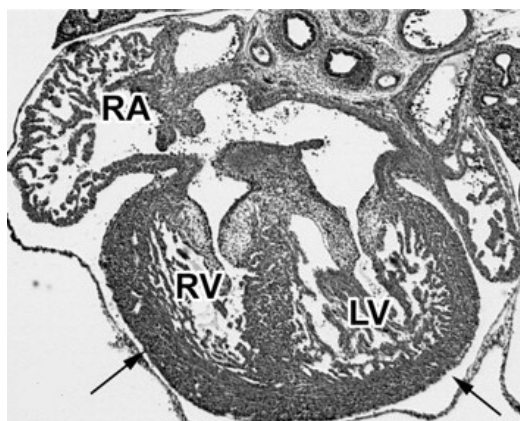
Jedním z nejčastěji využívaných modelů pro lidskou biologii je myš, jejíž životní cyklus je velmi podobný cyklu člověka s nímž také sdílí přibližně velké množství genů. Využití tohoto organismu je nejen v lidské genetice, ale také ve fyziologii či patofyziologii. Slouží pro výzkum nejen geneticky podmíněných chorob, ale také pro výzkum chorob srdečních, rakoviny, obezity, hypertenze, anémie a mnoha dalších. Výhodným modelovým organismem se stala myš také díky svoji malé velikosti, snadnému chovu a krátké době březosti. Myš také velmi přispěla pro výzkum morfologie srdce (Wessels & Sedmera, 2003; Schnelle et al., 2018).

Srdce myši zaujímá tvar podobný elipsoidu a v průměru váží 0,2 gramy. Je uloženo šikmo ke střední rovině dutiny hrudní a srdeční hrot lze najít za mečovitým výběžkem hrudní kosti. Jako ochrana srdce slouží kromě polohy také tenký průhledný vazivový osrdečník. Prostor mezi osrdečníkem a srdcem je vyplněn malým množstvím tekutiny (Nejedlý, 1965). Srdeční tep je velmi rychlý a dosahuje až 700 úderů za minutu. Tato vysoká frekvence slouží jako adaptace na endotermní způsob života a malou velikost těla. Vývoj srdce hlodavců je krátký, celý proces trvá zhruba 2 týdny od doby početí (Wessels & Sedmera, 2003).

V srdci hlodavců jsou síně a jejich slepé přívěsky ouška relativně malá a ne tak nápadná, viz. Obrázek 2.5. Pravá a levá síň jsou odděleny pomocí přepážky s viditelnou jamkou zvanou fossa ovalis. Mezi síňovým a komorovým septem se nachází síňokomorové septum, které je u hlodavců silné a většinou svalnaté. Síně a komory jsou odděleny pomocí dvou síňokomorových chlopní, jejichž uspořádání je u hlodavců stejné jako u člověka, tedy na pravé straně najdeme chlopeň s třemi různými cípy zvanou chlopeň trojcípá a na straně levé poté chlopeň s dvěma různými cípy zvanou chlopeň mitrální neboli dvojcípá. Na volné okraje cípů síňokomorových chlopní se upínají šlašinky papilárních svalů, které vystupují do lumina komor z myokardu. Primární funkcí chlopní je zabránit zpětnému toku krve z komor do síní (Nejedlý, 1965).

Obě síně slouží jako zásobník krve, který je méně prostorný než u srdce lidského. Tomu odpovídá také tenká stěna obou srdečních síní (Sedmera et al., 2000).

Do pravé síně vstupují přední a zadní dutá žíla. V časném stádiu vývoje nejdříve krev z obou žil odtéká do sinus venosus z něhož následně ústí přes jediný otvor opatřený chlopní do síně. Plicní žíly se spojují v plicní soutok za levou síní, kde se spojují a přes jediný otvor vstupují do dorzální stěny levé síně. (Wessels & Sedmera, 2003).



Obrázek 2.5: Mikroskopický pohled na srdce myši se znatelnou bohatou sítí hřebenitých svalů v síních (Wessels & Sedmera, 2003).

2.2.2 Kopytníci

Anatomická stavba i funkce srdce kopytníků je velmi podobná stavbě srdce člověka.

Oblíbeným modelem pro studium kardiovaskulárního onemocnění je prase, jehož srdce má anatomii, fyziologii podobnou lidskému a velikost jako srdce lidského kojence (Gabriel et al., 2021). Mezi další oblíbené druhy ze skupiny kopytníků patří ovce, jejichž srdce může být používáno jako vhodný model pro studium onemocnění srdce, jako infarkt myokardu (Milani-Nejad & Janssen, 2014). Mezi další studované druhy patří i kůň, jehož srdce je zajímavé a odlišné hlavně přítomností Purkyňových vláken v oblasti pravé síně. U ostatních druhů tato vlákna lze najít v oblasti srdečních komor (Elbrønd et al., 2023).

Srdce se skládá z pravé a levé síně, které se od sebe liší stavbou i funkcí a jsou odděleny pomocí síňové přepážky s nápadnou strukturou fossa ovalis. Na obě síně nasedají síňové přívěsky zvané ouška. Ouško pravé síně má na rozdíl od levého trojúhelníkovitého ouška tubulární vzhled a je více zřetelné u nedospělých jedinců (Gabriel et al., 2021).

Pravá srdeční síň přijímá odkysličenou krev přes vena cava cranialis a caudalis, které přitékají přes oblast hladkostěného sinus venosus spolu se sinus coronarius. Vstupující kaudální a kraniální žíla nejsou namířeny přímo proti sobě jako je to u srdce lidského, ale v pravém úhlu jedna k druhé. V oblasti pravé síně lze rozlišit nápadnou crista terminalis. Stěna pravé síně není hladká, ale obsahuje větší množství hřebenitých svalů.

Do levé síně vstupují dvě až šest plicních žil, které přivádí okysličenou krev z plic. Levá síň má poměrně hladkou stěnu a neobsahuje terminální hřeben.

Síně jsou od komor odděleny pomocí dvou síňokomorových chlopní s různým počtem cípů. Chlopeň na pravé straně je složena ze třech cípů a chlopeň levé strany je

poté složena z cípů dvou (Gabriel et al., 2021).

2.2.3 Šelmy

Ke studiu srdce šelem jsou často využíváni psi, jejichž srdce jsou fyziologicky podobná srdci člověku. Výhodou je také velká genetická rozmanitost u různých druhů. Nevýhodou využívání psů je ale menší přístupnost povolení k experimentu (Kooij et al., 2014).

Srdce je uloženo v dutině hrudní mírně nalevo od střední čáry v perikardiálním vaku, který je složen ze dvou různých listů. Mezi těmito listy je otvor vyplněný tekutinou. Je složeno ze dvou polovin, z nichž v každé lze rozeznat síň a komoru. Síň jsou od sebe odděleny celistvou přepážkou. Podobně jsou poté také komory odděleny pomocí přepážky.

Síň jsou poměrně malé tenkostěnné dutiny obklopené tukovou tkání. Do pravé síně ústí přední a zadní dutá žíla a věncový žilní splav, v jehož ústí lze najít chlopeň ve tvaru srpku. Část síně, do níž ústí duté žíly se také označuje jako sinus venosus. V zadní části síňové přepážky je oválná jamka zvaná fossa ovalis, která je pozůstatkem otvoru, kterým byly v embryonálním stádiu spojeny obě síň (Nejedlý, 1965).

Do levé síně ústí tři páry plicních žil. Pravá síň je od pravé komory oddělena pomocí trojčípé chlopně, naopak chlopeň mezi levou síní a levou komorou obsahuje pouze cípy dva (Nejedlý, 1965; Mai et al., 2010).

2.2.4 Člověk

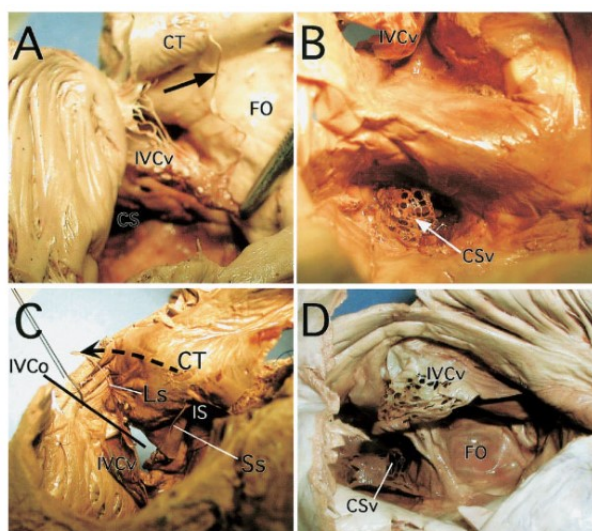
Srdce člověka je svalový dutý orgán, chráněný dvouvrstevným vazivovým obalem zvaným osrdečník, ležící v oblasti dutiny hrudní. Přesněji lze srdce nalézt ve středním mediastinu, kdy jedna třetina srdce leží napravo od střední čáry a zbylé dvě třetiny na straně levé. Většina tloušťky stěny srdce je tvořena srdeční svalovinou a samotná srdeční dutina je vystlána nitroblánou srdeční neboli endokardem (Mrázková, 2000). Tvar srdce odpovídá obrácené čtyřhranné pyramidě s vrcholem směřujícím dolů a velikost srdce lze přirovnat k zaťaté pěsti. Hmotnost srdce dospělého člověka se pohybuje okolo 300 g. Hlavní úkol srdce je pumpování krve, která je přiváděna do srdce pomocí velkých žil a následné dodávání krve do hlavy, krku, hrudníku, břicha a do dolních a horních končetin (Whitaker, 2010).

Srdce je rozděleno přepážkami na pravou a levou polovinu, kdy se každá polovina dále dělí na dvě dutiny. Lze tedy říci, že je srdce složeno ze čtyř základních částí. Mezi tyto části řadíme pravou a levou síň, které jsou dále propojeny s pravou a levou komorou. Pravá a levá strana srdce jsou navzájem odděleny pomocí mezisíňové a mezikomorové přepážky. Síň od komor jsou odděleny pomocí cípatých chlopní, které

jsou periodicky zavírány a otevírány v závislosti na fázi srdečního cyklu. Komory jsou odděleny od velkých cév pomocí chlopní poloměsíčitých. Funkcí pravé síně a komory je příjem odkysličené krve z velkých systémových žil a následný převod této krve do plic. Naopak levá síň a levá komora přijímají okysličenou krev z plic a umožňují její přechod do systémových cév, které následně tuto krev rozvádí po těle. Funkcí chlopní je udržení jednosměrného toku krve, tedy zabraňují zpětnému toku krve (Whitaker, 2010). Při pohledu zepředu je dutina pravé síně umístěna vpravo a dopředu, zatímco levá síň je situována vlevo a převážně dozadu (Siew et al., 2002).

Pravá síň

Pravá síň zaujímá nepravidelný elipsoidní tvar s dominantní strukturou trojúhelníkového tvaru zvanou pravé ouško a funkčně slouží jako místo vstupu hlavních systémových žil. Je složena z mnoha anatomicky unikátních struktur viz. Obrázek 2.6, které se často podílejí na fyziologických problémech, jako například abnormalita elektrické aktivity. Pravá síň je dutina srdce, do které ústí shora horní dutá žíla a naproti



Obrázek 2.6: Anatomický pohled do pravé síně ukazující její struktury; CT - terminální hřeben, FO - foramen ovale, IVCv - chlopeň při vstupu dolní duté žíly, CSv - chlopeň sinus coronarius, IS - komorové septum (Moorman et al., 1998).

tomuto vyústění vstupuje do dutiny dolní dutá žíla. Obě žíly vstupují do srdce přes otvory zvané ostia. Vtok krve z dolní části přes dolní dutou žílu je regulován tenkou chlopní zvanou valva venae cavae inferioris neboli Eustachova řasa (Mrázková, 2000). V důsledku vstupů horní a dolní duté žíly je u lidí zadní stěna pravé síně mírně promáčknutá (Siew et al., 2002). Kromě velkých žil ústí do pravé síně přes ostium

sinus coronarii s nefunkční řasou zvanou valvula sinus coronarii široký srdeční žilní splav zvaný sinus coronarius. Dorzální hladká část pravé síně je označena svíslou hranou zvanou crista terminalis. Charakteristické jsou pro pravou síň hřebenité svaly, které vychází z crista terminalis. V přední části srdce lze nalézt připojenou slepou kapsu zvanou pravé ouško, které je zvrásněné pomocí velkého množství drobných svalových trámečků zvaných muscoli pectinati. Pravá síň je od síně levé oddělená na její mediální straně pomocí mezisíňového septa. V dospělosti je na septu patrný uzavřený otvor zvaný foramen ovale, který tvoří viditelnou jamku zvanou fossa ovalis. Dobře viditelný je i oválný vystouplý okraj jamky limbus ovalis. Tyto útvary jsou pozůstatkem fetálního krevního oběhu. Nejkaudálnější část síňového septa je tvořena pouze vazivovou blánou bez myokardu. Do pravé síně neústí jen velké žíly, ale také množství žil malých, které sem vstupují otvory zvanými foramina venarum minimarum cordis. Zajímavým útvarem pravé síně je Kochův trojúhelník, který se rozpíná mezi septálním cípem trojcípé chlopně, předním okrajem sinus coronarius a řasou, která je pokračováním řasy dolní duté žíly. V této části síně se pod endokardem nachází jedna z částí převodního systému srdečního, nodus atrioventricularis, který umožňuje zpomalení a přenos vzruchů pro srdeční rytmus. Při poškození nodus sinuatrialis, který je primární pacemaker, může sloužit také jako náhradní generátor vzruchů (Mrázková, 2000).

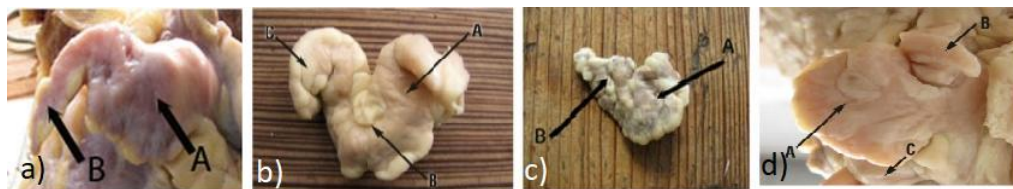
Levá síň

Levá síň se nachází na levé straně srdce a je od pravé oddělena síňovou přepážkou s viditelným prohloubením zvaným fossa ovalis. Přední část levé síně leží těsně za příčným perikardiálním sinem, který je vpředu ohraničen aortálními sinusy. Zadní stěna je těsně před rozdělením průdušnice (Siew et al., 2002). Síň přijímá krev pomocí dvou párů plicních žil přicházejících skrze otvory zvané ostia. I na levé síni je patrný vybíhající útvar, zvaný ouško, který je ale nápadně menší než u síně pravé (Mrázková, 2000).

Z hlediska velikosti je vzhledem k pravé síni menší se značně silnější stěnou cirkulárně, podélně i šikmo uspořádaných vláken myokardu. Tloušťka stěny je důsledkem vystavení síně vyšším tlakům krve. Tato odlišnost umožňuje základní funkci levé síně, kterou je příjem a následný transport okysličené krve z plicního oběhu do levé komory (Janek et al., 2016).

Levé ouško je obecně popisováno jako úzká, tubulární, hákovitá struktura, která je jakýmsi slepým prodloužením srdeční síně. Levé ouško je morfologicky odlišné od zbytku levé síně a bylo prokázáno jako nejčastější místo tvorby trombu. Dodnes není jasně objasněna funkce tohoto útvaru, ale bylo prokázáno, že významně přispívá k čerpací funkci levé síně (Ouchi et al., 2020).

Studie levého ouška prokázaly pohlavní a věkové dimorfismy. Většina oušek levého srdce v ženské populaci byla složena ze 2 laloků, u mužů se častěji objevovala ouška i se 3 laloky. Rozdíly byly nalezeny i v průměru oválného otvoru ouška a pohybovaly se v rozmezí 12,0 až 16,0 mm. Povědomost o anatomické variabilitě ve struktuře levého ouška pomohla objasnit některé nedefinované ozvy nalézané při echokardiografickém vyšetření. Ouška byla díky morfologické variabilitě rozdělena do 4 kategorií. Podle struktury lze ouška rozdělit na typy 1 s proximálním a spodnějším distálním lalokem, který je zároveň typem nejčastěji se vyskytujícím. Typ 2 složen z proximálního, středního a distálního laloku, typ 3 s proximálním a horním distálním lalokem a typ 4 je složen z centrálního laloku, který je obklopen ze spodu a z vrchu dalšíma dvěma laloky, viz. Obrázek 2.7. Jednotlivé typy svým vzhledem připomínající kaktus, kuřecí křídlo, větrný rukáv a květák (Kamiński et al., 2015).



Obrázek 2.7: typy oušek levé síně a) typ 1 b) typ 2 c) typ 3 d) typ 4, (Ouchi et al., 2020).

2.3 Stavba síní ptáků

Ptáci jak je dnes známe jsou považováni za nejbližší žijící příbuzné krokodýlů. O příbuznosti svědčí také jejich plně rozdělené čtyřdutinové srdce s odděleným plicním a systémovým průtokem krve, které vede k dokonalému rozdělení okysličené a odkysličené krve (Stephenson et al., 2017).

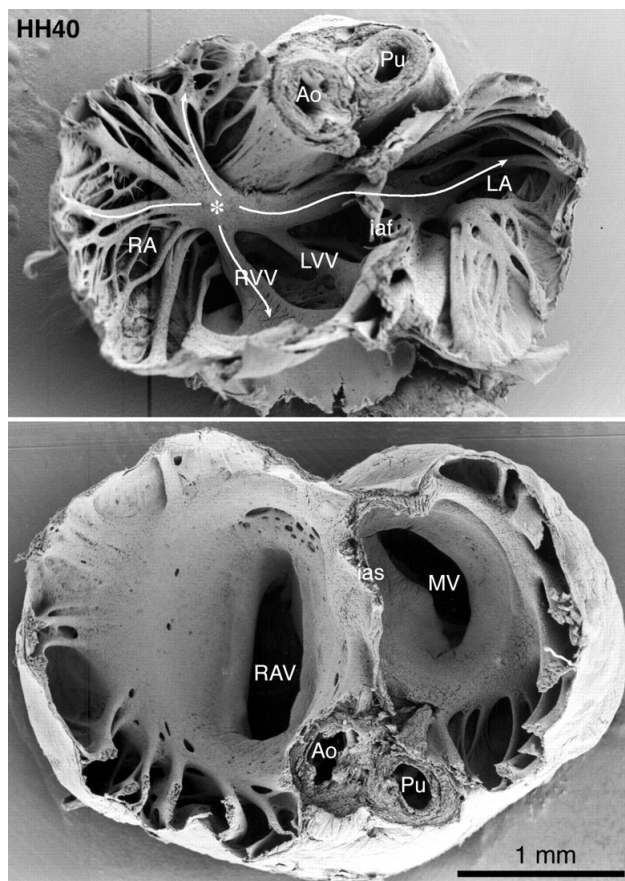
Srdce ptáků je umístěno dorzálně od hrudní kosti podél střední linie přední části dutiny hrudní a dlouhá osa srdce ukazuje mírně napravo od střední čáry. Za nejkaudálnější bod lze považovat vrchol levé srdeční komory (Kroneman et al., 2019). Celý orgán je obalen tenkým vazivovým perikardiálním vakem, který je naplněn serózní tekutinou, která zastává hlavně lubrikační funkci (Lansford & Rugonyi, 2020). Srdce je děleno na dvě tenkostěnné rozdílně velké síně a dvě rozdílně velké komory s velkým množstvím svalové hmoty. Síně jsou od komor odděleny pomocí atrioventrikulárních chlopní. Sinus venosus se ztrácí u většiny ptáků, zbytky lze vidět u pštrosa a kuřat (Stephenson et al., 2017).

Do srdce všech ptáků vstupují tři velké systémové žíly, pravá a levá dutá kraniiální žíla a kaudální dutá žíla. Jejich stěny obsahují myokard a jsou proto považovány za pozůstatky sinus venosus, oddílu před pravou síní, který se nachází u ektotermních živočichů. Mezidruhovou odlišností srdce ptáků je hlavně ventrální sloučení síní u několika málo druhů a díky tomuto sloučení dochází k obepnutí aorty pravou a levou síní (Kroneman et al., 2019).

Pohled na srdeční síně ptáků nám ukazuje dvě rozdílně velké tenkostěnné dutiny oddělené tenkostěnnou přepážkou. Pravou síň lze jednoduše odlišit díky jejímu zřetelně většímu průměru (Stephenson et al., 2017). Vnitřní stěny síní jsou u všech ptáků hladší než u lidí a i srdeční chlopně jsou také značně jednodušší. Na lumenální straně stěny pravé síně jsou jasně viditelné hřebenité svaly různých velikostí. Počet a velikost těchto svalů je mezidruhově odlišná. Tyto svaly se kraniiálně sbíhají do velkého svalového oblouku, který překlenuje horní část a tvoří přibližně čtvrtinu veškeré svaloviny síní. Pravá atrioventrikulární chlopně mezi pravou síní a pravou komorou je složena z jediné srdeční svalovinou vyztužené chlopně připevněné k vnitřní straně pravé komory. Levá atrioventrikulární chlopně spojující levou síň a levou komoru je bikuspidální a skládá se z membrán ukotvených v komorových papilárních svalech (Kroneman et al., 2019). Srdeční stěna, která je tvořena svalovinou je rozdělena na svalovinu síní a komor a je zcela oddělena vazivovým srdečním skeletem. Jedinými vlákny, která propojují svalovinu síní a komor dohromady jsou modifikovaná svalová vlákna bez schopnosti kontrakce. Hlavní funkcí těchto vláken je schopnost vedení vzruchu. Tato vlákna se společně označují jako Hisův svazek a jsou součástí převodního systému srdce (Davies, 1930). Během fetálních stádií, kdy nejsou plíce plně funkční je u ptáků krev odváděna z plicního oběhu do oběhu systémového pomocí levého a pravého ductus arteriosus. V tomto období je také síňové septum přerušeno několika malými otvory, které slouží k proudění krve mezi komorami a vytváří tak pravo-levý zkrat. K jejich uzavírání dochází v krátké době po narození v návaznosti na rozvoj dýchání (Lansford & Rugonyi, 2020).

K levé menší a silnější síně se sbíhají dvě plicní žíly, které se před vyústěním spojují v jedinou cévu, která následně ústí do těla levé síně. Stěny síně jsou, i přes přítomnost poměrně velkého množství hřebenitých svalů, v porovnání s trabekulární strukturou pravé a levé komory hladké (Lansford & Rugonyi, 2020). Stěna levé síně je tenká a vybíhá v slepý útvar zvaný ouško (Kroneman et al., 2019).

Funkčně kompaktní architektura stěny pravděpodobně nabízí malý odpor pro protékající krev a tedy umožňuje vysokou rychlost proudění krve, čímž je umožněna pro ptáky vysoká srdeční frekvence (Kroneman et al., 2019).



Obrázek 2.8: Vnitřní struktury srdce kuřecího embrya v horní části jsou viditelné hřebenité svaly síně 14 denního embrya LA - levá síň; LVV - chlopeň mezi levou síní a levou komorou; MV - mitrální chlopeň; Pu - plicní tepna; RA - pravá síň, Ao - aorta; iaf - mezisíňové otvory; RVV - pravá venózní chlopeň; ias - mezikomorové septum; RAV - pravá síňokomorová chlopeň (Sedmera et al., 2006).

2.4 Stavba síní plazů

Třída plazů je extrémně taxonomicky rozmanitá, což vede k velké různorodosti anatomie a fyziologie plazího srdce. Z hlediska srdeční evoluce lze tuto bohatou třídu rozdělit do dvou skupin. Do první skupiny patří krokodýli a druhá zahrnuje všechny ostatní podtřídy plazů. U nekrokodýlů lze pozorovat třídutínové srdce zatímco u krokodýlů lze najít vysoce vyvinuté srdce se čtyřmi dutinami (Stephenson et al., 2017).

2.4.1 Srdce krokodýlů

Srdce krokodýlů bývá srovnáváno se srdcem ostatních plazů. Rozdílné anatomické uspořádání je spojeno s odlišnými nároky na srdeční systém. Srdce je pomocí úplných přepážek rozděleno na čtyři části, mezi které řadíme dvě síně a dvě komory, viz.

Obrázek 2.9. I přes plné rozdělení komor se u krokodýlů zachovalo spojení pravého a levého aortálního oblouku a pravolevý aortální zkrat. Komunikaci mezi oběma aortami umožňuje buď foramen Panizy nebo anostomózy (Axelsson & Franklin, 1997). Stejně jako u ostatních nekrokodýlích druhů srdce tvoří 0,3-0,5 % tělesné hmotnosti. (Stephenson et al., 2017)

Srdce krokodýlů se skládá z pravé a levé síně, které jsou zcela odděleny úplnou síňovou přepážkou bez jakékoli jamky nebo vyvýšeniny. Síňové septum má tlusté dorzální a tenčí ventrální komponenty a silnější dorzální konec septa je ve stejné rovině jako komorová přepážka. V období fetálního vývoje jsou v septu mezi pravou a levou síní vytvořeny fenestrace, které spojují obě komory a umožňují proudění krve mezi oběma síněmi. Po vylíhnutí tyto perforace zanikají. Defekty síňového septa u plazů nejsou běžné, na rozdíl od defektů septa člověka (Jensen et al., 2020).

Pravou síň lze rozdělit na část zvanou pravé ouško s velkým množstvím hřebenitých svalů a vestibul s hladkou žilní částí. Pravé ouško je s dutinou síně spojeno tenkým kanálkem. Vestibulum pravé síně podpírá cípy pravé atrioventrikulární chlopně a z jeho funkce lze odvodit umístění, které je okolo místa spojení síně a komory. Atrioventrikulární chlopeň se složkou svalnatou i membranózní je pouze dvojcípá.

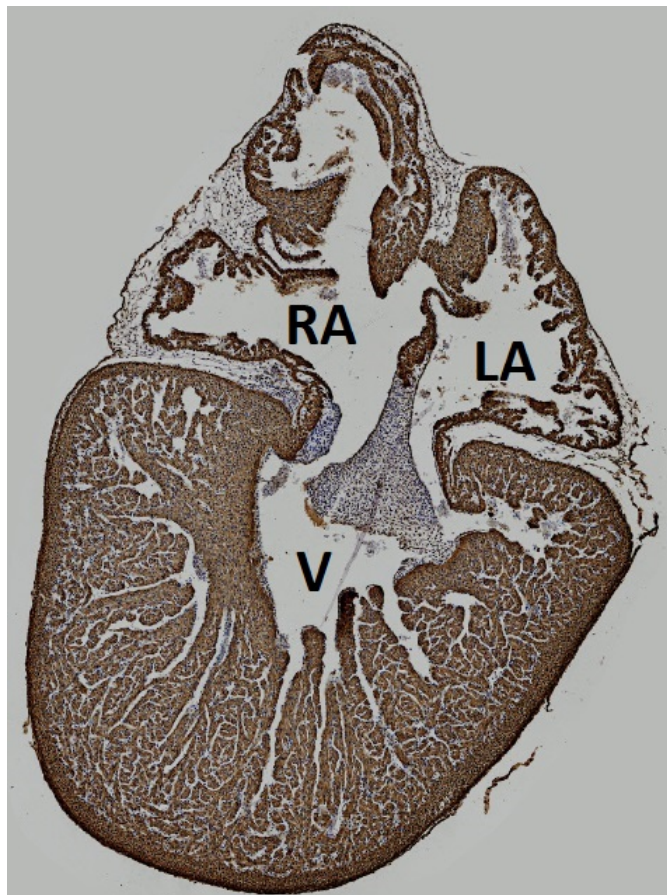
Levá síň krokodýlího srdce je složena stejně jako síň pravá z několika částí. Mezi tyto části patří hladkostěnné vestibulum, poměrně rozsáhlý síňový přívěšek ve tvaru kosočtverce s velkým množstvím hřebenitých svalů zvaný levé ouško, septální složka oddělující obě síně a složka plicních žil, mezi které patří hlavně vstupy dvou plicních žil na opačných stranách vestibula. Levé ouško je se síní propojeno užším spojením, než nalézáme u spojení ouška pravého. Levá atrioventrikulární chlopeň je opět dvojcípá, přičemž oba cípy jsou vazivové (Cook et al., 2017).



Obrázek 2.9: Srdce krokodýla s viditelnými čtyřmi dutinami ve 27. ze 60ti dnů embryonálního vývoje. RA - pravá síň; LA - levá síň; RV - pravá komora; LV - levá komora.

2.4.2 Nekrokodýlí plazí srdce

Dodnes známí nekrokodýlí plazi mají tříduťinové srdce, viz. Obrázek 2.10, které tvoří 0,3-0,5 % jejich tělesné hmotnosti. Sinus venosus, někdy považován jako další část srdce plazů, je poměrně malý a z conus arteriosus zůstal jen malý zbytek (Stephenson et al., 2017). Dvě síně srdce jsou odděleny úplnou síňovou přepážkou, ale přepážka jediné komory je neúplná. I přes neúplné rozdělení srdeční komory se rozdílně okysličené proudy krve nemusí zcela mísit (Bettex et al., 2014). Většina komory je tvořena trabekulárním myokardem, ale lze v ní najít také části kompaktního myokardu (Stephenson et al., 2017). U všech plazů nacházíme pravou a levou srdeční síň, které jsou



Obrázek 2.10: Mikroskopický pohled na srdce hada *Pantherophis guttatus* ve 28. ze 60ti-80ti dnů embryonálního vývoje. RA - pravá síň; LA - levá síň; V - komora.

oddělené velmi tenkou mezi síňovou přepážkou. Stěna srdečních síní je stavěna na podkladu svalové vrstvy s vrstvou hřebenitých svalů a vrstvou endotelových buněk. Lze tedy obecně říci, že srdeční síně jsou bohaté na svalové trabekuly (Jensen et al., 2017). Na rozdíl od síní savců a ptáků u plazů nelze najít hladké části v srdečních síních (Jensen & Christoffels, 2020). Pravá síň bývá obvykle větší než levá a slouží

k zpětnému příjmu odkysličené krve z těla ze tří systémových žil skrz sinus venosus, který se nachází před pravou síní a lze ho od síně rozlišit jeho vnitřní hladkou stěnou. Levá síň přijímá okysličenou krev z plic pomocí jedné až dvou plicních žil. Síně jsou od komor odděleny pomocí dvojcípých chlopní s membranózní strukturou bez přítomnosti chordae tendinae nebo papilárních svalů (Jensen et al., 2013a).

2.5 Stavba síní obojživelníků

Nejčastějším druhem pro studium srdce obojživelníků je žába drápatka vodní, jejíž výhoda je hlavně ve velkém počtu vajíček a schopnost raného vývoje srdce bez funkčního cévního systému (Hempel & Kühl, 2016).

Srdce většiny obojživelníků je umístěno v přední části hrudníku, přesněji jej lze nalézt ventrálně od prvních obratlů (De Beer, 1928). Mezidruhově odlišná stavba srdce obojživelníků je důsledkem jejich rozdílného životního stylu. U primitivnějších obojživelníků, jako je například mlok bez plic, lze pozorovat přepážku oddělující pravou a levou síň s patrnými fenestracemi. U jiných druhů lze již nalézt síně odděleny přepážkou bez fenestrací, což má za následek vznik třídutinného srdce. Existuje i malá skupina obojživelníků s naznačenou septací komory (de Bakkerand et al., 2015). Obecně je tedy toto třídutinné srdce složeno ze dvou oddělených síní a jedné nedělené svalnaté komory, viz. Obrázek 2.11. Houbovitá komora je tvořena převážně z trabekulovaného myokardu s vnitřními hřebeny. Houbovitý myokard normálně tvoří až 80 % hmoty komory a zbylých 20 % tvoří kompaktní myokard. Komora není pomocí houbovitého myokardu dělena na dvě části, ale přesto je patrná centrální organizace houbovitého myokardu do 5-10 paralelních listů v závislosti na druhu, které slouží k snížení mísení okysličené a odkysličené krve protékající komorou. Tato houbovitá vrstva pak tvoří jakousi vertikální přepážku a dutinu komory rozděluje na cavum arteriosum na levé straně a cavum venosum na straně pravé. Krev bohatá na kyslík z cavum arteriosum spolu s krví chudou na kyslík z cavum venosum poté odchází společně přes conus arteriosus, který je spirálovitě stočený a tvoří spirální chlopeň umožňující ještě lepší oddělení různých typů krve (De Beer, 1928), do místa odstupu velkých cév. Okysličená krev z cavum arteriosum je nasměrována do pravé aorty, z níž vznikají krční tepny, zatímco odkysličená krev z cavum venosum jde do plicní tepny, která vystupuje z ventrální aorty (Shelton & Boutillier, 1982).

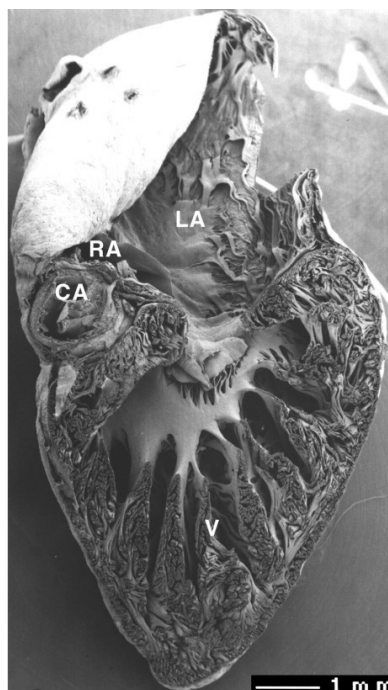
Srdeční síně obojživelníků jsou tenkostěnné různě velké dutiny oddělené síňovou přepážkou, která zabraňuje mísení okysličené a odkysličené krve procházejícími dutinami. Pravá síň je větší než síň levá. Vpředu na pravé straně leží silnostěnná trubice zvaná bulbus cordis, táhnoucí se šikmo přes pravou síň. Bulbus nahoře přechází do tenkostěnného tepenného kmene zvaného truncus arteriosus, který na začátku vytváří

jednu dutinu, ale následně rozděljuje na dorzální a ventrální část. Na dorzální straně srdce je tenkostěnný sinus venosus do něhož vstupují velké žíly, a který dále ústí pomocí velkého otvoru do pravé síně a je opatřený dvěma chlopněmi.

Srdce zde zastává funkci svalové pumpy, pomocí níž je krev rozváděna přes uzavřený oběhový systém. Levá síň přijímá krev z plicní žíly malým otvorem bez chlopně. Jako primární udavač rytmu slouží sinus venosus. Ke kontrakci dutin dochází postupně v rozmezí 200 ms. Do pravé síně proudí odkysličená krev ze sinus venosus a ve stejnou dobu se plní také levá síň krví okysličenou. Z obou síní putuje poté krev do komory. Obě síně se vyprazdňují do komory velkým síňokomorovým otvorem, který je chráněn dvěma velkými a dvěma malými chlopněmi. Zpětnému toku krve z komor do síní brání papilární svaly připevněné k volným cípům chlopní (Nejedlý, 1965).

Echokardiografie ukazuje, že přítoky levé a pravé síně jsou dobře odděleny podél jedné z houbovitéch vrstev komory. Tato houbovitá vrstva také tvoří jakousi vertikální přepážku, která umožňuje jakousi oddělenost levé a pravé části jedné komory (Dittrich et al., 2018).

Srdce ryb a obojživelníků je schopné kompletní regenerace srdeční tkáně s plnou obnovou funkčnosti, v protikladu se srdcem savců, kde poškození vede ke vzniku jizev které mohou mít za následek poruchu funkce a srdeční selhání (Jewhurst & McLaughlin, 2016).

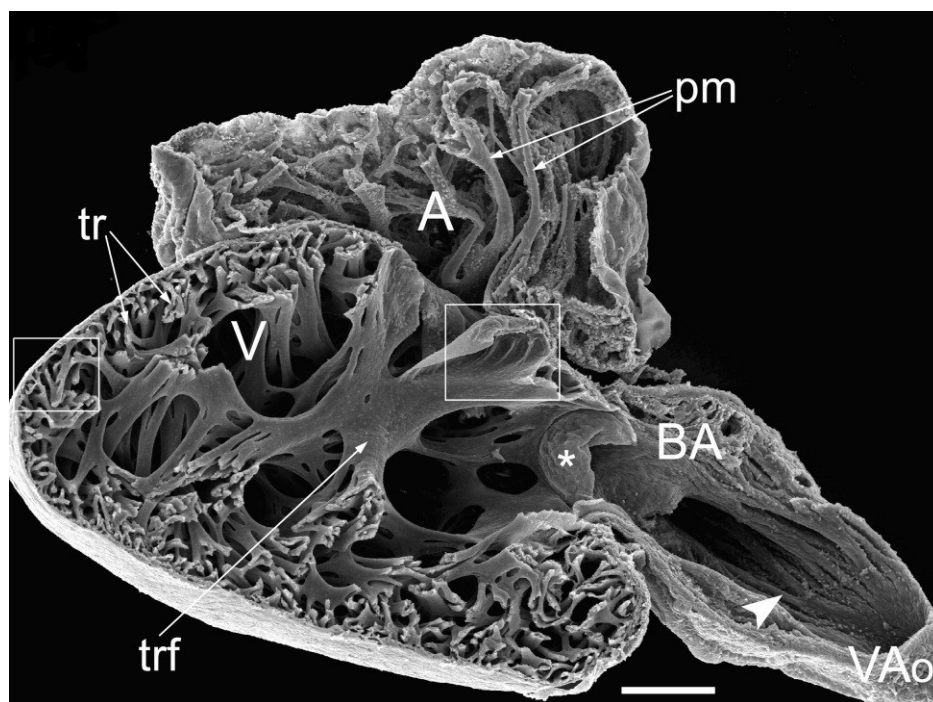


Obrázek 2.11: Stavba třídutinového srdce žáby. RA - pravá síň; LA - levá síň; V - komora; CA - conus arteriosus (Sedmera et al., 2000).

2.6 Stavba síní ryb

I přes vysokou rozmanitost druhů ryb je možný obecný popis jejich srdce. Jeho anatomická stavba je z velké části ovlivněna způsobem získávání kyslíku pomocí žaber. Srdce všech ryb se skládá z jedné síně a jedné komory a je tomu tak i u druhů ryb, které k dýchání používají dohromady plíce i žábry, viz. Obrázek 2.12. Kromě těchto dvou dutin je v místě přítoku krve připojen sinus venosus, který přijímá odkysličenou krev ze systémového oběhu. Mezidruhové rozdíly jsou v dalších částech, kterými jsou conus arteriosus, truncus arteriosus nebo bulbus arteriosus (Grimes & Kirby, 2009). Všechny tyto složky lze rozeznat ve vyvíjejících se i dospělých srdcích. Stojí za zmínku, že atrioventrikulární kanál, bulbus u bazálních druhů a conus u pokročilejších kostnatých jsou všechny relativně krátké a jsou funkčně definovány lépe jako spojovací segmenty (Icardo, 2017). Chlopně mezi komorami a kontrakce všech dutin kromě bulbu udržují jednosměrný průtok krve srdcem. Rybím srdcím chybí sympatická inervace (Randall, 1968).

Rybí srdce obsahuje srdeční síň, kterou lze přirovnat k velkému vaku s poměrně tenkou stěnou tvořenou hřebenitými svaly. Tvar této síně je mezidruhově rozdílný a je rozebrán v následujících podkapitolách.



Obrázek 2.12: Stavba dvoudutinového srdce ryby u *Dania pruhoaná*. A - síň; V - komora; BA - bulbus arteriosus; pm - hřebenité svaly; tr - trabekuly; VAo - ventrální aorta. (Hu et al., 2001).

2.6.1 Chrupavčité

Srdce chrupavčitých ryb se nachází v perikardiální dutině a krev tímto orgánem prochází během srdečního cyklu pouze jednou. Srdce je složeno ze sinus venosus, síně, komory a výtokového traktu. Sinus venosus a síň zaujímají dorzální polohu vzhledem ke komoře a výtokovému traktu. Sinus venosus, který má myokard spojený s pomalými rychlostmi vedení obsahuje centrum spontánní depolarizace. Většinou druhů dokonce chybí myokard ve stěně sinu, s výjimkou sinuatriálního spojení, kde je umístěno centrum spontánní depolarizace (Lorenzale et al., 2018).

Tenkostěnná síň má tenký trabekulovaný myokard, a je obvykle velká a zužuje se směrem k atrioventrikulární oblasti. Tímto zužováním tvoří rozdělení proti komoře, které je zvenčí označené atrioventrikulárním žlábkem (Lorenzale et al., 2018). Oddělení síní a komor je zabezpečeno pomocí atrioventrikulární chlopně.

2.6.2 Kostnaté

Obecně mají kostnaté ryby dvoudutinové srdce s jednou síní a jednou komorou, které tvoří přibližně 0,2 % jejich hmotnosti (Stephenson et al., 2017). Srdce kostnatých ryb lze rozdělit do šesti odlišných anatomických struktur, mezi které se řadí sinus venosus, srdeční síň, atrioventrikulární segment, komora, conus arteriosus a bulbus arteriosus. Atrioventrikulární segment a conus jsou krátké a jsou funkčně častěji definovány jako spojovací segmenty. Komora se liší svou morfologií mezi jednotlivými druhy. Také vnější tvar srdce se mezidruhově liší od pyramidálního po vakovitý nebo tubulární (Gardinal et al., 2019).

Tenkovrstevná srdeční síň je natočena dorzálně ke komoře a má nepravidelný tvar, který se může mezidruhově mírně lišit. Síň je také v kontaktu s výtokovým traktem z důvodu blízkosti přítokových a výtokových komorových otvorů. Vnitřek síně obsahuje řadu tenkých trabekul, které tvoří síňový myokard. Subepikardiální oblast je složena převážně z kolagenu, který je také přítomen vnitřně a zahrnuje trabekuly. V přechodové oblasti mezi komorou a síní má atrioventrikulární segment, tvořený kompaktním myokardem, pár dvoucípých chlopní bez papilárních svalů a s různým počtem buněk a různým množstvím extracelulárního materiálu (Icardo & Colvée, 2011). Chlopně jsou kotveny ve svalovině atrioventrikulárního segmentu a skládají se z robustní proximální základny a tenčí distální části, která se ohýbá uvnitř komory (Gardinal et al., 2019).

2.7 Dvojdyšné

U dvojdyšných dochází k rozvoji dýchání nejen pomocí žaber, ale také pomocí vakovitých plic. Díky tomuto dochází ke změně stavby srdce.

Srdce dvojdyšných je obklopeno tlustým, tuhým perikardem. Venózní krev přichází do srdce přes tenkostěnný sinus venosus. Jediná plicní žíla prochází perikardem ve vazivovém záhybu a ústí přímo do levé strany síně. Komora je tlustostěnná s houbovitou vnitřní strukturou a je částečně rozdělena vertikální přepážkou. Další strukturou srdce je bulbus, který se skládá z vrstvy svalových buněk s výrazným pruhováním v proximální části. V příčných a distálních segmentech bulbu je svalovina hladká (Szidon et al., 1969).

Tenkostěnná síň je kaudálně rozdělena na dva přibližně symetrické laloky, které jsou umístěny po stranách sinus venosus. K rozdělení dochází pomocí hřebenitých svalů, které se nachází mezi dorzální stěnou a střechou plicního kanálu. Částečné dělení síně je tedy vnitřní i vnější. Tyto laloky jsou protáhlé, vykazují velmi nepravidelné okraje a dále pokračují nad sinus venosus, kde dochází k jejich spojení. Síň tedy mají společnou centrální část, která je přiložena k dorzální ploše komory a částečně obklopuje proximální část výtokového traktu. Kraniálně není rozdělení na síňové laloky příliš jasné, ale existují dobře definované volné síňové přívěsky zvané ouška. Okysličená krev je přímo dopravována do levé síně pomocí plicního kanálu, který je tvořen kraniálně záhybem a. pulmonalis, ventrálně AV ústím a kaudálně a dorzálně stěnou síní (Icardo et al., 2005).

Kapitola 3

Diskuze

Srovnávací studie srdcí jednotlivých druhů mohou nabídnout řadu důkazů, pomocí nichž lze hodnotit důležitost a smysl anatomické architektury lidského srdce. Toto jednoduché srovnávání dvou či více různých srdcí nám umožňuje lepší pochopení srdeční evoluce a podává informace o anatomických rysech srdce, které jsou sdíleny napříč skupinami obratlovců. Tyto sdílené rysy jsou považovány za zásadní pro zajištění normální funkce srdce (Cook et al., 2017).

Všechny větve evolučního stromu i přesto, že některé jsou na sobě nezávislé, mají tendenci vyvíjet se stejným směrem. Z toho důvodu dochází k častému vylepšování mechanické výkonosti kardiovaskulárního systému hlavně za účelem zvýšení aktivity. Tento vývoj však musí odpovídat měnícím se potřebám na metabolismus s důrazem na nezávislost na okolním prostředí například u teplokrevných živočichů. V dnešní době mají pravděpodobně nejvýkonnější kardiovaskulární systém ptáci. Naopak srdce lidí je vhodně přizpůsobeno pro středně velkého tvora s dostatečnou schopností zásobit jeden z nejdůležitějších orgánů, kterým je právě pro člověka mozek (Bettex et al., 2014).

Bylo zjištěno, že od myši po velrybu vykazují všechna srdce podobné strukturní i funkční vlastnosti. Jednotlivé změny srdce savců k nimž došlo v průběhu evoluce byly většinou úpravy, které měly za úkol kompenzaci změny velikosti a tvaru těla. Bylo prokázáno, že srdce savců ve srovnání s ostatními orgány bylo na vliv evoluce spíše necitlivé (Meijler & Meijler, 2011).

O srdečních síních lze obecně říci, že u ektotermních živočichů jsou velmi objemné a také více přispívají k plnění komor než u živočichů endotermních. U teplokrevných existuje mírná tendence k menším síním, ale to lze stejně dobře připsat variacím závislým na druhu (Jensen et al., 2013a).

Zajímavá je u obratlovců velká mezidruhová odlišnost ve struktuře, velikosti, či vůbec přítomnosti hřebenitých svalů, význačných svým vzhledem.

Většina savců, včetně člověka, má hřebenité svaly výrazně vyvinuty pouze v pravé srdeční síni. V levé srdeční síni jsou hřebenité svaly obvykle menší nebo chybí úplně.

Tato asymetrie je způsobena evolučním vývojem síní, který byl pro pravou a levou síň odlišný. Pravděpodobně ale také souvisí s fyziologickými požadavky a funkcemi pravé a levé srdeční síně, které nicméně stále nejsou dopodrobna prozkoumány a popsány. U ptáků jsou hřebenité svaly dobře vyvinuty v pravé i levé síni. Jejich přítomnost je klíčová pro efektivní pumpování krve během aktivního letu, který vyžaduje vysokou spotřebu kyslíku. U plazů, včetně krokodýlů, může být výskyt hřebenitých svalů rozmanitý. Někteří plazi mají hřebenité svaly dobře vyvinuty, zatímco u jiných jsou méně výrazné. U obojživelníků, jako jsou žáby a mloci, jsou hřebenité svaly přítomny, ale jejich vývoj a organizace se mohou lišit podle druhu. Většina ryb má zřetelně vyvinuté hřebenité svaly v atriu. U některých druhů primitivních ryb existují struktury, které připomínají hřebenité svaly, ale jejich funkce se může lišit od skutečných hřebenitých svalů u obratlovců.

Srovnání hřebenitých svalů u obratlovců je důležité pro pochopení evoluce a fyziologických adaptací srdečních struktur u různých druhů. Hřebenité svaly hrají klíčovou roli v efektivní kontrakci srdce a zajišťují dostatečný průtok krve v daných fyziologických podmínkách, což přispívá k optimální srdeční funkci v každé konkrétní životní situaci.

Kapitola 4

Závěr

Srdce patří mezi jeden z nejdůležitějších orgánů zajišťujících přežití organismu. V minulosti se řada studií zabývala strukturou srdce nejen člověka, ale také ostatních živočichů. Pozornost však byla věnována převážně stavbě srdečních komor, které jsou pro jejich velikost a nekolabující stěnu a ke studiu vhodnější než poměrně malé srdeční síně. Srdeční síně jsou nicméně nepostradatelnou součástí srdce a mohou být také častou příčinou srdečních potíží spojených se vznikem trombů či nedostatkem hormonů produkovaných právě v této části. I přesto, že srdeční síň prochází v průběhu evoluce značnými anatomickými a morfologickými změnami, její stálá přítomnost ukazuje na nepostradatelnost této dutiny.

Cílem této bakalářské práce bylo prozkoumat anatomickou a fyziologickou strukturu srdečních síní obratlovců a porozumět jejich významu pro správný tok krve a přenos živin v rámci těchto živočišných skupin. Práce se také zaměřovala na evoluční adaptace srdečních síní daných skupin obratlovců.

Během studia dostupné literatury bylo zjištěno, že rozvoj síní začíná u ryb, kde lze pozorovat pouze jednu síň, následuje postupné oddělování síní na dvě dutiny. Vznik dvou dutin je spojen se vznikem plic a následným vznikem dvou krevních oběhů pro různé typy krve. Tyto dvě dutiny jsou v prenatalním vývoji odděleny přepážkou s viditelnými fenestracemi, které umožňují propojení obou síní.

Nakonec, u savců, dochází k plnému oddělení obou dutin pomocí celistvé přepážky, která bývá pro krev propustná pouze v embryonálním vývoji a tedy po narození umožňuje oddělení krve odkysličené a okysličené. Síně slouží jako příjemce a rezervoár krve a následně také jako pumpa, která umožňuje přechod krve do komor na základě jejich rozdílného tlakového gradientu. Tento proces lze podrobně zkoumat pomocí neinvazivní metody echokardiografie. Mezi další funkce patří nejen u člověka produkce atriálního natriuretického peptidu, což je hormonu, který se podílí na hospodaření s vodou. V oblasti srdečních síní jsou také nalezeny oblasti buněk, které se podílejí na vzniku a šíření vzruchu a tedy dávají srdci možnost funkce bez zapojení centrálního

nervového systému. Otázkou však nadále zůstává, jaký by mělo dopad odstranění například síňových přívěsků, které se na první pohled zdají jako nepotřebné, a které se u všech druhů nenacházejí.

Celkově lze konstatovat, že srdeční síně obratlovců jsou zásadní pro jejich životně důležitou kardiovaskulární funkcionalitu. Porozumění těmto adaptacím a vztahu srdečních síní k patologickým stavům je klíčové pro posílení diagnostických a terapeutických postupů v oblasti srdečních onemocnění u obratlovců. Poznatky vyplývající z této práce se mohou týkat dalšího výzkumu v oblasti srdečních síní obratlovců, zejména v kontextu evoluce, fyziologie a patologie. Je důležité pokračovat ve studiu srdečních síní různých skupin obratlovců, aby se lépe porozumělo jejich adaptacím, vztahu k životnímu prostředí a možnostem léčby srdečních onemocnění. Výsledky této práce mohou sloužit jako výchozí bod pro další výzkum a přispět k rozvoji veterinární medicíny.

Literatura

Publikace označené * jsou přehledové články.

- * Axelsson, M., & Franklin, C. E. (1997). From anatomy to angioscopy: 164 years of crocodilian cardiovascular research, recent advances, and speculations. *Biochem. Physiol*, *118*, 51–62.
- * Bettex, D. A., Prêtre, R., & Chassot, P. G. (2014). Is our heart a well-designed pump? the heart along animal evolution. *European Heart Journal*, *35*, 2322–2332.
- Boukens, B. J., Kristensen, D. L., Filogonio, R., Carreira, L. B., Sartori, M. R., Abe, A. S., Currie, S., Joyce, W., Conner, J., Opthof, T., Crossley, D. A., Wang, T., & Jensen, B. (2019). The electrocardiogram of vertebrates: Evolutionary changes from ectothermy to endothermy. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, *144*, 16–29.
- Cook, A. C., Tran, V. H., Spicer, D. E., Rob, J. M., Sridharan, S., Taylor, A., Anderson, R. H., & Jensen, B. (2017). Sequential segmental analysis of the crocodilian heart. *Journal of Anatomy*, *231*, 484–499.
- Coucelo, J., Coucelo, J., & Azevedo, J. (1996). Ultrasonography characterization of heart morphology and blood flow of lower vertebrates. *Journal of Experimental Zoology*, *275*, 73–82.
- Davies, F. (1930). The conducting system of the bird's heart. *Journal of Anatomy*, *64*, 129–146.
- de Bakkerand, Desiderius, M., Wilkinson, M., & Jensen, B. (2015). Extreme variation in the atrial septation of caecilians (amphibia: Gymnophiona). *Journal of Anatomy*, *226*(1), 1–12.
- * De Beer, C. (1928). *Vertebrate Zoology*. Sidgwick Jackson, 1 ed.
- Dittrich, A., Thygesen, M., & Lauridsen, H. (2018). 2d and 3d echocardiography in the axolotl (ambystoma mexicanum). *Journal of Visualized Experiments*, *141*.

- Elbrønd, V. S., Thomsen, M. B., Isaksen, J. L., Lunde, E. D., Vincenti, S., Wang, T., Tranum-Jensen, J., & Calloe, K. (2023). Intramural purkinje fibers facilitate rapid ventricular activation in the equine heart. *Acta Physiologica*, 237.
- Gabriel, G. C., Devine, W., Redel, B. K., Whitworth, K. M., Samuel, M., Spate, L. D., Cecil, R. F., Prather, R. S., Wu, Y., Wells, K. D., & Lo, C. W. (2021). Cardiovascular development and congenital heart disease modeling in the pig. *Journal of the American Heart Association*, 10.
- * Gaisler, J. (1983). *Zoologie obratlovců*. Academia, 1 ed.
- Gardinal, M. V. B., Ruiz, T. F. R., Moron, S. E., Yoshioka, E. T. O., Gonçalves, L. U., Vicentini, I. B. F., & Vicentini, C. A. (2019). Heart structure in the amazonian teleost arapaima gigas (osteoglossiformes, arapaimidae). *Journal of Anatomy*, 234, 327–337.
- * Grimes, A. C., & Kirby, M. L. (2009). The outflow tract of the heart in fishes: Anatomy, genes and evolution. *Journal of Fish Biology*, 74, 983–1036.
- * Hempel, A., & Köhl, M. (2016). A matter of the heart: The african clawed frog xenopus as a model for studying vertebrate cardiogenesis and congenital heart defects. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*, 3.
- Hu, N., Yost, H. J., & Clark, E. B. (2001). Cardiac morphology and blood pressure in the adult zebrafish. *Anatomical Record*, 264, 1–12.
- Icardo, J., Ojeda, J., Colvee, E., Tota, B., Wong, W., & Ip, Y. (2005). Heart inflow tract of the african lungfish protopterus dolloi. *Journal of morphology*, 263, 30–8.
- * Icardo, J. M. (2017). Heart morphology and anatomy. *Fish Physiology*, 36, 1–54.
- Icardo, J. M., & Colvee, E. (2011). The atrioventricular region of the teleost heart. a distinct heart segment. *Anatomical Record*, 294, 236–242.
- Janek, B., Peichl, P., & Kotrč, M. (2016). Uzávěr ouška levé síně katetrizační cestou pod kontrolou intrakardiálním ultrazvukem. *Klinika kardiologie IKEM, Praha*, (pp. 33–36).
- Jensen, B., & Christoffels, V. (2020). Reptiles as a model system to study heart development. *Cold Spring Harbor Perspective in Biology*, 12.
- Jensen, B., Joyce, W., Gregorovicova, M., Sedmera, D., Wang, T., & Christoffels, V. M. (2020). Low incidence of atrial septal defects in nonmammalian vertebrates. *Evolution and Development*, 22, 241–256.

- Jensen, B., van den Berg, G., van den Doel, R., Oostra, R. J., Wang, T., & Moorman, A. F. (2013a). Development of the hearts of lizards and snakes and perspectives to cardiac evolution. *PLoS ONE*, *8*.
- Jensen, B., Vesterskov, S., Boukens, B. J., Nielsen, J. M., Moorman, A. F., Christoffels, V. M., & Wang, T. (2017). Morpho-functional characterization of the systemic venous pole of the reptile heart. *Scientific Reports*, *7*.
- * Jensen, B., Wang, T., Christoffels, V. M., & Moorman, A. F. (2013b). Evolution and development of the building plan of the vertebrate heart. *Biochimica et Biophysica Acta - Molecular Cell Research*, *1833*, 783–794.
- Jewhurst, K., & McLaughlin, K. A. (2016). Beyond the mammalian heart: Fish and amphibians as a model for cardiac repair and regeneration. *Journal of Developmental Biology*, *4*.
- Kamiński, R., Kosiński, A., Brala, M., Piwko, G., Lewicka, E., Dabrowska-Kugacka, A., Raczak, G., Kozłowski, D., & Grzybiak, M. (2015). Variability of the left atrial appendage in human hearts. *PLoS ONE*, *10*.
- * Kooij, V., Venkatraman, V., Tra, J., Kirk, J. A., Rowell, J., Blice-Baum, A., Cammarato, A., & Eyk, J. E. V. (2014). Sizing up models of heart failure: Proteomics from flies to humans. *Proteomics - Clinical Applications*, *8*, 653–664.
- Kroneman, J. G., Faber, J. W., Schouten, J. C., Wolschrijn, C. F., Christoffels, V. M., & Jensen, B. (2019). Comparative analysis of avian hearts provides little evidence for variation among species with acquired endothermy. *Journal of Morphology*, *280*, 395–410.
- * Lansford, R., & Rugonyi, S. (2020). Follow me! a tale of avian heart development with comparisons to mammal heart development. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*, *7*.
- * Lorenzale, M., López-Unzu, M. A., Rodríguez, C., Fernández, B., Durán, A. C., & Sans-Coma, V. (2018). The anatomical components of the cardiac outflow tract of chondrichthyans and actinopterygians. *Biological Reviews*, *93*, 1604–1619.
- Lynch, P. J., & Jaffe, C. C. (1999). Image of left parasternal long axis view of heart. *Yale University*.
- Mai, W., Weisse, C., & Sleeper, M. M. (2010). Cardiac magnetic resonance imaging in normal dogs and two dogs with heart base tumor. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, *51*(4), 428–435.

- Meijler, F. L., & Meijler, T. D. (2011). Archetype, adaptation and the mammalian heart. *Netherlands Heart Journal*, *19*, 142–148.
- Milani-Nejad, N., & Janssen, P. M. (2014). Small and large animal models in cardiac contraction research: Advantages and disadvantages. *Pharmacology and Therapeutics*, *141*, 235–249.
- * Moorman, A. F. M., Jong, F. D., Denyn, M. F. J., Lamers, W. H., & Moorman, F. M. (1998). Development of the cardiac conduction system. *Circ Res*, *82*, 629–644.
- * Mrázková, O. (2000). *Oběhové ústrojí (angiologie)*, (p. 423–437). Grada Publishing, spol. s.r.o.
- * Nejedlý, K. (1965). *Biologie a soustavná anatomie laboratorních zvířat*. Státní pedagogické nakladatelství, 1 ed.
- Ouchi, K., T, S., & H, O. (2020). A predictor for defects in filling of the left atrial appendage on cardiac computed tomography in patients with atrial fibrillation. *Journal of Computer Assisted Tomography*, *44*, 284–288.
- Park, D. S., & Fishman, G. I. (2011). The cardiac conduction system. *Circulation*, *123*(8), 904–915.
- Randall, D. J. (1968). Functional morphology of the heart in fishes. *American Zoologist*, *8*, 179–189.
- Schnelle, M., Catibog, N., Zhang, M., Nabeebaccus, A. A., Anderson, G., Richards, D. A., Sawyer, G., Zhang, X., Toischer, K., Hasenfuss, G., Monaghan, M. J., & Shah, A. M. (2018). Echocardiographic evaluation of diastolic function in mouse models of heart disease. *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, *114*, 20–28.
- Sedmera, D., & McQuinn, T. (2008). Embryogenesis of the heart muscle. *Heart Failure Clinics*, *4*, 235–245.
- Sedmera, D., Pexieder, T., Vuillemin, M., Thompson, R. P., & Anderson, R. H. (2000). Developmental patterning of the myocardium. *Anatomical Record*, *258*, 319–337.
- Sedmera, D., Wessels, A., Trusk, T., Thompson, R., Hewett, K., & Gourdie, R. (2006). Changes in activation sequence of embryonic chick atria correlate with developing myocardial architecture. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, *291*, H1646–52.
- * Shelton, G., & Boutilier, R. G. (1982). Apnoea in Amphibians and Reptiles. *Journal of Experimental Biology*, *100*(1), 245–273.

- * Siew, , Ho, Y., Anderson, R. H., & Sanchez-Quintana, D. (2002). Atrial structure and fibres: morphologic bases of atrial conduction. *Cardiovascular Research*, *54*, 325–336.
- * Simões-Costa, M. S., Vasconcelos, M., Sampaio, A. C., Cravo, R. M., Linhares, V. L., Hochgreb, T., Yan, C. Y., Davidson, B., & Xavier-Neto, J. (2005). The evolutionary origin of cardiac chambers. *Developmental Biology*, *277*, 1–15.
- * Stephenson, A., Adams, J. W., & Vaccarezza, M. (2017). The vertebrate heart: an evolutionary perspective. *Journal of Anatomy*, *231*, 787–797.
- Szidon, J. P., Lahiri, S., Lev, M., & Fishman, A. P. (1969). Heart and circulation of the african lungfish. *Circulation Research*, *25*(1), 23–38.
- Wagner, M., & Siddiqui, M. A. Q. (2007). Signal transduction in early heart development (i): Cardiogenic induction and heart tube formation. *Experimental Biology and Medicine*, *232*(7), 852–865.
- Wessels, A., & Sedmera, D. (2003). Developmental anatomy of the heart: a tale of mice and man. *Physiological Genomics*, *15*(3), 165–176.
- * Whitaker, R. H. (2010). Anatomy of the heart. *Medicine*, *38*(7), 333–335.

Seznam obrázků

1.1 Historický pohled na lidské srdeční síně shora.	2
2.1 Rozdíly ve stavbě srdce u vybraných druhů obratlovců. a - síň; v - komora; ra - pravá síň; la - pravá síň; rv - pravá komora; lv - levá komora; + - plná komorová přepážka; ÷ - nerozdělená komora (Jensen et al., 2013b).	4
2.2 Srovnávací pohled na křivky EKG u plazů, ptáků a savců s viditelnou časovou odlišností u poikilotermních a homeiotermních tříd obratlovců (Boukens et al., 2019).	6
2.3 ECHO srdce člověka a graf s vizualizací toku krve přes pravou síňokomorovou chlopeň u kuřete v 8. dni embryonálního vývoje získaný pomocí Dopplerovské echokardiografie; 1 - nasávání krve komorami; 2 - aktivní kontrakce síní (Lynch & Jaffe, 1999).	7
2.4 Srovnávací pohled na srdce savců, A - myš; B - člověk (Wessels & Sedmera, 2003).	8
2.5 Mikroskopický pohled na srdce myši se znatelnou bohatou sítí hřebenitých svalů v síních (Wessels & Sedmera, 2003).	10
2.6 Anatomický pohled do pravé síně ukazující její struktury; CT - terminální hřeben, FO - foramen ovale, IVCv - chlopeň při vstupu dolní duté žíly, CSv - chlopeň sinus coronarius, IS - komorové septum (Moran et al., 1998).	12
2.7 typy oušek levé síně a) typ 1 b) typ 2 c) typ 3 d) typ 4, (Ouchi et al., 2020).	14
2.8 Vnitřní struktury srdce kuřecího embrya v horní části jsou viditelné hřebenité svaly síně 14 denního embrya LA - levá síň; LVV - chlopeň mezi levou síní a levou komorou; MV - mitrální chlopeň; Pu - plicní tepna; RA - pravá síň, Ao - aorta; iaf - mezisíňové otvory; RVV - pravá venózní chlopeň; ias - mezikomorové septum; RAV - pravá síňokomorová chlopeň (Sedmera et al., 2006).	16

2.9	Srdce krokodýla s viditelnými čtyřmi dutinami ve 27. ze 60ti dnů embryonálního vývoje. RA - pravá síň; LA - levá síň; RV - pravá komora; LV - levá komora.	17
2.10	Mikroskopický pohled na srdce hada Pantherophis guttatus ve 28. ze 60ti-80ti dnů embryonálního vývoje. RA - pravá síň; LA - levá síň; V - komora.	18
2.11	Stavba třídutinnového srdce žáby. RA - pravá síň; LA - levá síň; V - komora; CA - conus arteriosus (Sedmera et al., 2000).	20
2.12	Stavba dvoudutinového srdce ryby u Dania pruhovaného. A - síň; V - komora; BA - bulbus arteriosus; pm - hřebenité svaly; tr - trabekuly; VAo - ventrální aorta. (Hu et al., 2001).	21