

SRDEČNÍ CYKLUS

Srdeční cyklus je období mezi začátkem dvou, po sobě jdoucích srdečních stahů. Skládá se z:

1. kontrakce komor, označované jako **systola** a
2. relaxace komor, označované jako **diastola**.

Obě části srdečního cyklu zahrnují několik fází, pro které je charakteristická buď výrazná změna tlaku při konstantním objemu nebo změna objemu při minimální změně tlaku.

Fáze systoly jsou

1. **izovolumická kontrakce**
2. **ejekce.**

Fáze diastoly jsou

3. **izovolumická relaxace**
4. **rychlé plnění komor**
5. **pomalé plnění komor**
6. **systola síní.**

Poslední tři jmenované fáze (4 -6) bývají souhrnně nazývány jako **plnicí fáze**.

Trvání jednoho srdečního cyklu je nepřímo úměrné srdeční frekvenci, se stoupající frekvencí se délka cyklu zkracuje, s klesající frekvencí se naopak prodlužuje. Při frekvenci 75 úderů/min trvá jeden cyklus 0,8 s. Za klidových podmínek zaujímá systola 1/3 a diastola 2/3 délky srdečního cyklu. Při stoupající frekvenci se zkracuje zejména trvání diastoly, narozdíl od systoly, jejíž délka se příliš nemění.

V následujících šesti kapitolách jsou popsány jednotlivé fáze srdečního cyklu.

Popis vždy zahrnuje:

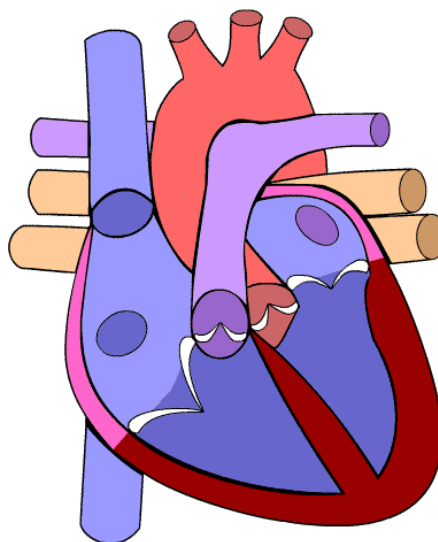
- Mechanické děje v srdci včetně stavu chlopenního aparátu. Probíhající kontrakce je na obrázcích znázorněna ztmavnutím svaloviny.
- Tlakově objemové změny v síních a komorách. Změny tlaku v pravé síni se přenáší na velké žíly (např. v.jugularis) a je možno je registrovat na záznamu žilního tepu neboli **flebogramu**.
- Tlakové změny v tepnách - **sfygmogram**.
- Elektrické změny v srdci - **elektrokardiogram (EKG)**.
- Záznam srdečních ozev - **fonokardiogram**.

Text je doplněn animací mechanických dějů v srdci během srdečního cyklu včetně sfigmogramu, EKG, fonokardiogramu, křivek znázorňujících tlakově objemové změny v levé komoře a tlakové změny v pravé síni.

1. Izovolumická kontrakce

1. 1. Srdce

Elektrický vzruch se šíří komorovou svalovinou a zahajuje její kontrakci. Díky kontrakci dochází k vzestupu tlaku uvnitř obou komor, který převýší tlak v síních. Vzniklý tlakový gradient způsobí krátkodobé obrácení toku krve z komor do síní, což způsobí uzavření cípatých chlopní. Poloměsíčité chlopně jsou v této fázi uzavřeny, protože komorový tlak je nižší než tlak ve velkých tepnách (obr. 1.1).



Obr. 1.1. Izovolumická kontrakce
Probíhající kontrakce je znázorněna ztmavnutím svaloviny.

1.2. Tlakově objemové změny v srdci

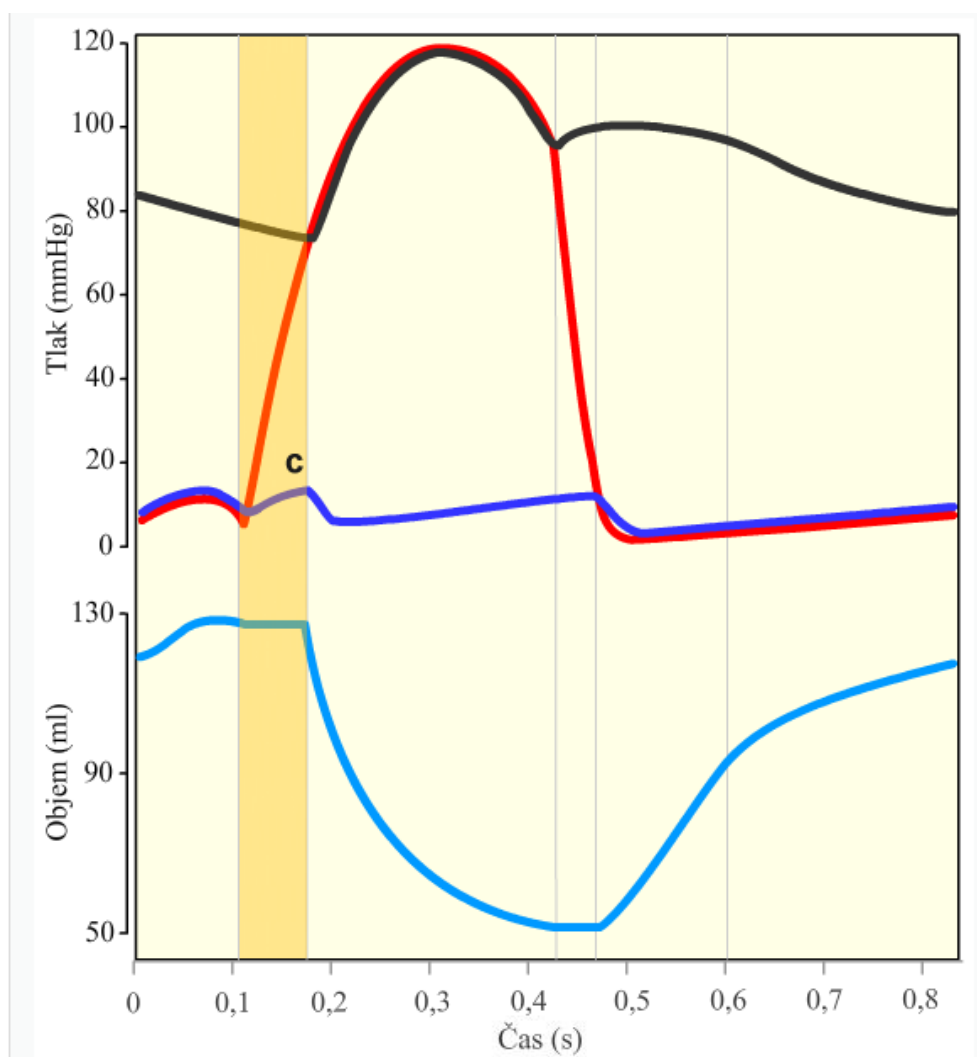
Vzhledem k tomu, že krev je nestlačitelná a všechny chlopně jsou uzavřeny, tlak uvnitř komor strmě stoupá, aniž by se měnil objem krve v komorách (obr. 1.2). Proto je tato fáze označována jako **izovolumická**. Objem krve je roven enddiastolickému objemu (cca 130 ml).

1.3. Žilní puls (flebogram)

Strmý vzestup tlaku v komorách vede k vyklenutí atrioventrikulárních chlopní směrem do síní a tlak krve následně stoupá i v síních. Vzestup tlaku v pravé síni se na flebogramu objeví jako pozitivní **vlna c** (obr. 1.2). Částečně se na vzniku vlny c podílí i zpětný tok krve z komor do síní těsně před uzavřením cípatých chlopní.

1.4. Tlakové změny v tepnách

Tlak v tepnách se nemění a je roven hodnotě diastolického tlaku (přibližně 80 mmHg ve velkém oběhu a 8 mmHg v malém oběhu, obr. 1.2).

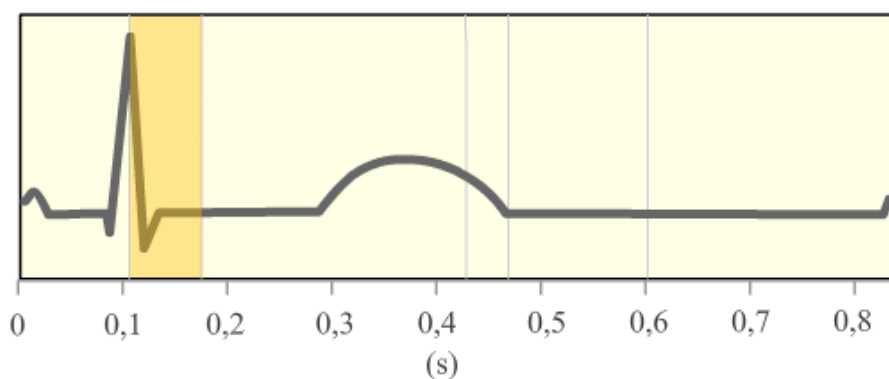


Obr. 1.2. Izovolumická kontrakce - tlakově objemové změny

Červená křivka - tlak v levé komoře, **černá** - tlak v aortě, **tmavě modrá** - tlak v pravé síni, **světle modrá** - objem krve v komoře.

1.5. Elektrokardiogram

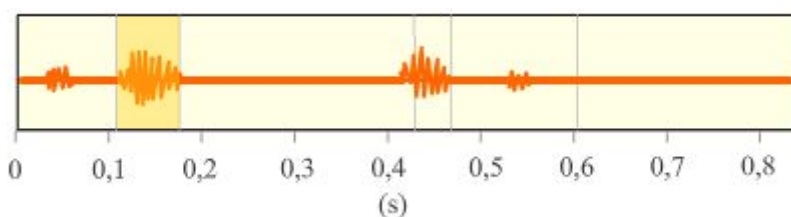
Před zahájením izovolumické kontrakce se vzruchová aktivita rozšiřuje z atrioventrikulárního uzlu pomocí Hisova svazku a Purkyňových vláken na svalovinu komor. Postupné šíření depolarizace na komorové septum a poté na volné stěny obou komor se zobrazuje na EKG jako **QRS komplex** (komorový komplex, obr. 1.3). Po srdečních síních se ve stejném okamžiku šíří repolarizace, kterou však na EKG nelze identifikovat, neboť je překryta QRS komplexem.



Obr. 1.3. Izovolumická kontrakce - EKG

1.6. Srdeční ozvy

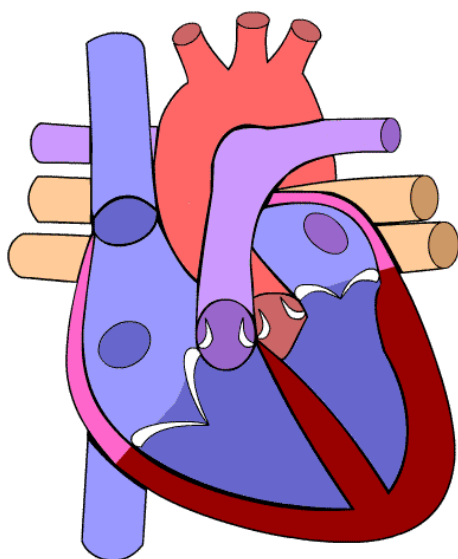
Během izovolumické kontrakce se na fonokardiogramu objevuje **I. srdeční ozva** (obr. 1.4). Je způsobena vibracemi cípatých chlopní, krve a přilehlé srdeční svaloviny, které vznikají v důsledku prudkého uzavření cípatých chlopní.



Obr. 1.4. Izovolumická kontrakce – srdeční ozvy

2. Ejekční fáze

2.1. Srdce



Jakmile stoupající tlak v levé komoře převýší tlak v aortě a stoupající tlak v pravé komoře převýší tlak v a.pulmonalis, dojde k otevření poloměsíčitých chlopní. Komorová svalovina se dále kontrahuje a krev je vypuzována z levé komory do aorty a z pravé komory do a.pulmonalis. Cípaté chlopně jsou uzavřeny, neboť tlak v síních je nižší než tlak v komorách (obr. 2.1).

Obr. 2.1. Ejekční fáze

Probíhající kontrakce je znázorněna ztmavnutím svaloviny.

2.2. Tlakově objemové změny v srdci

Maximální komorový tlak na vrcholu ejekční fáze je v levé komoře asi 120 mmHg a v pravé komoře asi 25 mmHg (= **systolický tlak**). V druhé polovině ejekce tlak krve v obou komorách začíná klesat (obr. 2.2). Během první části ejekce charakterizované prudkým vzestupem komorového tlaku je krev do cév vypuzována rychleji, a proto tato část bývá označována jako **rychlá ejekce**. V druhé části ejekční fáze, kdy se snižuje tlakový gradient mezi srdečními komorami a velkými cévami, je krev vypuzována pomaleji, a proto se tato část nazývá **pomalá ejekce**.

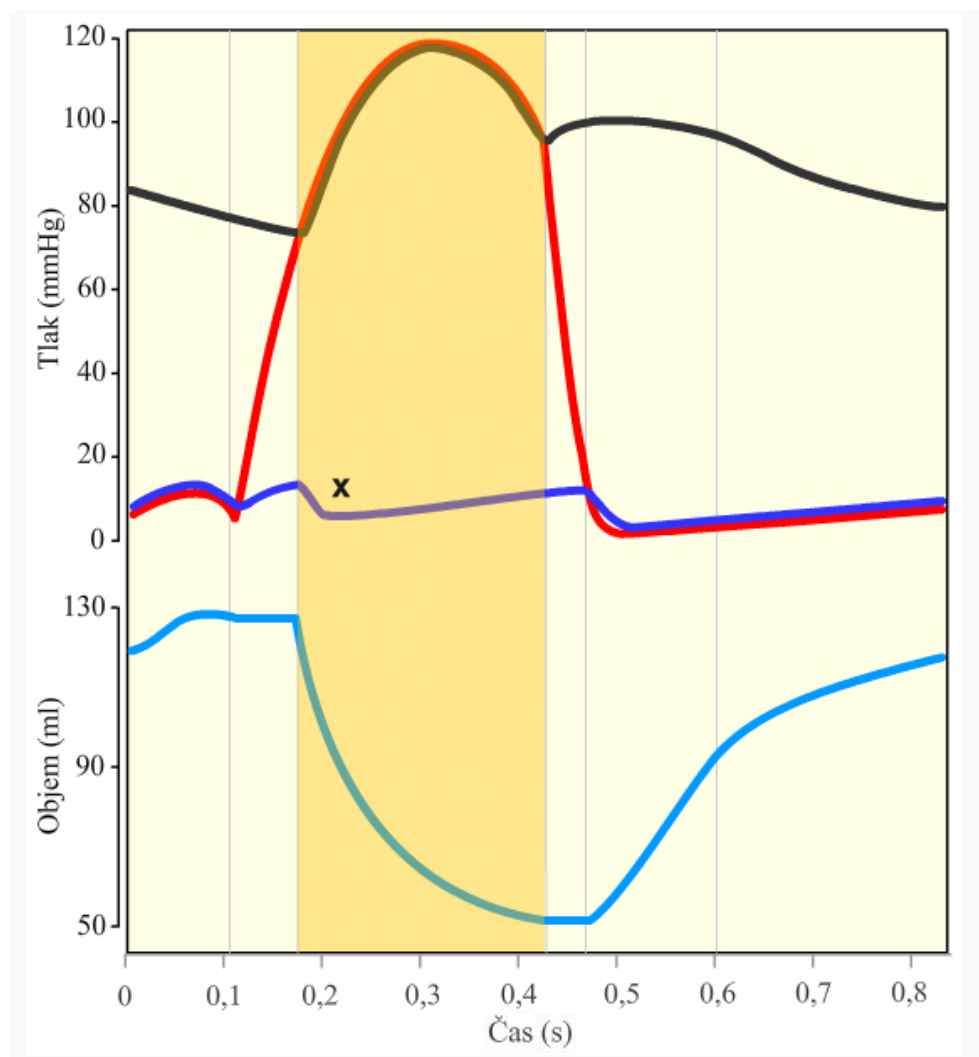
Za klidových podmínek je během ejekční fáze z každé komory vypuzeno asi 70 ml krve, tento objem je označován jako **systolický objem**. Na konci ejekce tedy zůstává v každé komoře asi 60 ml krve – **endsystolický objem** (obr. 2.2). Poměr systolického a enddiastolického objemu je roven hodnotě tzv. **ejekční frakce**. Tato hodnota udává, jaké procento z celkového objemu krve přítomné v levé, event. pravé srdeční komoře na konci diastoly je během systoly vypuzeno do velkého, event. malého krevního objemu. Fyziologická hodnota ejekční frakce je přibližně 60 %.

2.3. Žilní puls

Při kontrakci komor dochází k posunu síňokomorového rozhraní směrem k srdečnímu apexu. Tím dochází ke zvětšení objemu srdečních síní a k následnému poklesu intraatriálního tlaku, který se na flebogramu projeví negativní vlnou **x** (obr. 2.2). Výše zmíněný pokles tlaku v síních urychluje žilní návrat.

2.4. Tlakové změny v tepnách

Na začátku ejekční fáze, díky rychlému vypuzení krve z komor, stoupá tlak ve velkých tepnách. Nejvyšší hodnoty dosahuje krevní tlak na konci rychlé ejekční fáze a označuje se jako **tlak systolický**. U zdravého člověka má hodnotu **120 mmHg** ve velkých tepnách systémového oběhu a **25 mmHg** v plicnici. Během pomalé ejekce tlak krve v tepnách malého i velkého oběhu postupně klesá (obr. 2.2).

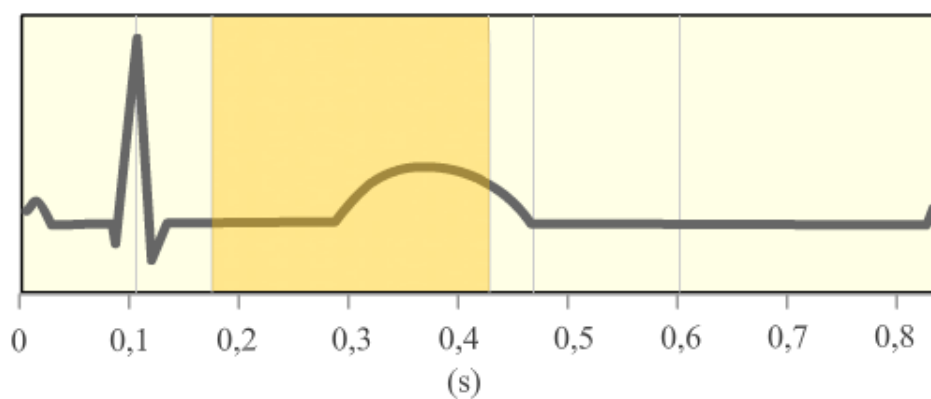


Obr. 2.2. Ejekční fáze - tlakově objemové změny

Červená křivka - tlak v levé komoře, **černá** - tlak v aortě, **tmavě modrá** - tlak v pravé síni, **světle modrá** - objem krve v komoře.

2.5. Elektrokardiogram

Na začátku ejekční fáze je svalovina komor kompletně depolarizována a na elektrokardiogramu je přítomen **segment ST**. Během pomalé ejekce se začíná repolarizovat svalovina komor, což vede ke vzniku vlny **T** (obr. 2.3).

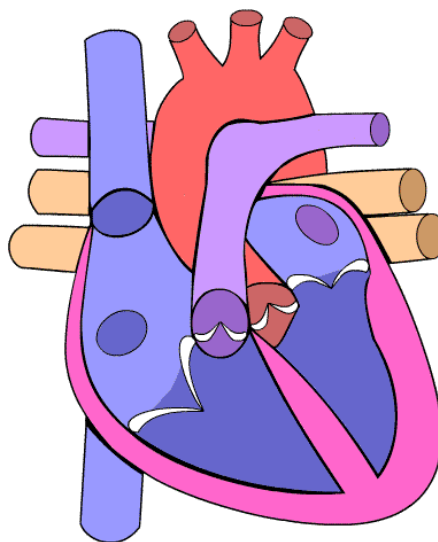


Obr. 2.3. Ejekční fáze – elektrokardiogram

3. Izovolumická relaxace

3.1. Srdce

Jak bylo popsáno v předchozí fázi, během pomalé ejekce dochází k poklesu tlaku krve v obou komorách. Díky setrvačnosti toku krve teče krev z komor do cév krátkou dobu i poté, co tlak v cévách převýší tlak v komorách. Po překonání setrvačnosti toku krve dojde k uzavření poloměsíčitých chlopní na základě tlakového gradientu (tlak krve ve velkých cévách je vyšší než tlak krve v srdečních komorách). Uzávěrem poloměsíčitých chlopní je zahájena izovolumická relaxace. Cípaté chlopně zůstávají v uzavřeném stavu, protože tlak krve v síních je nižší než tlak v komorách (obr. 3.1).



Obr. 3.1. Izovolumická relaxace

3.2. Tlakové objemové změny v srdci

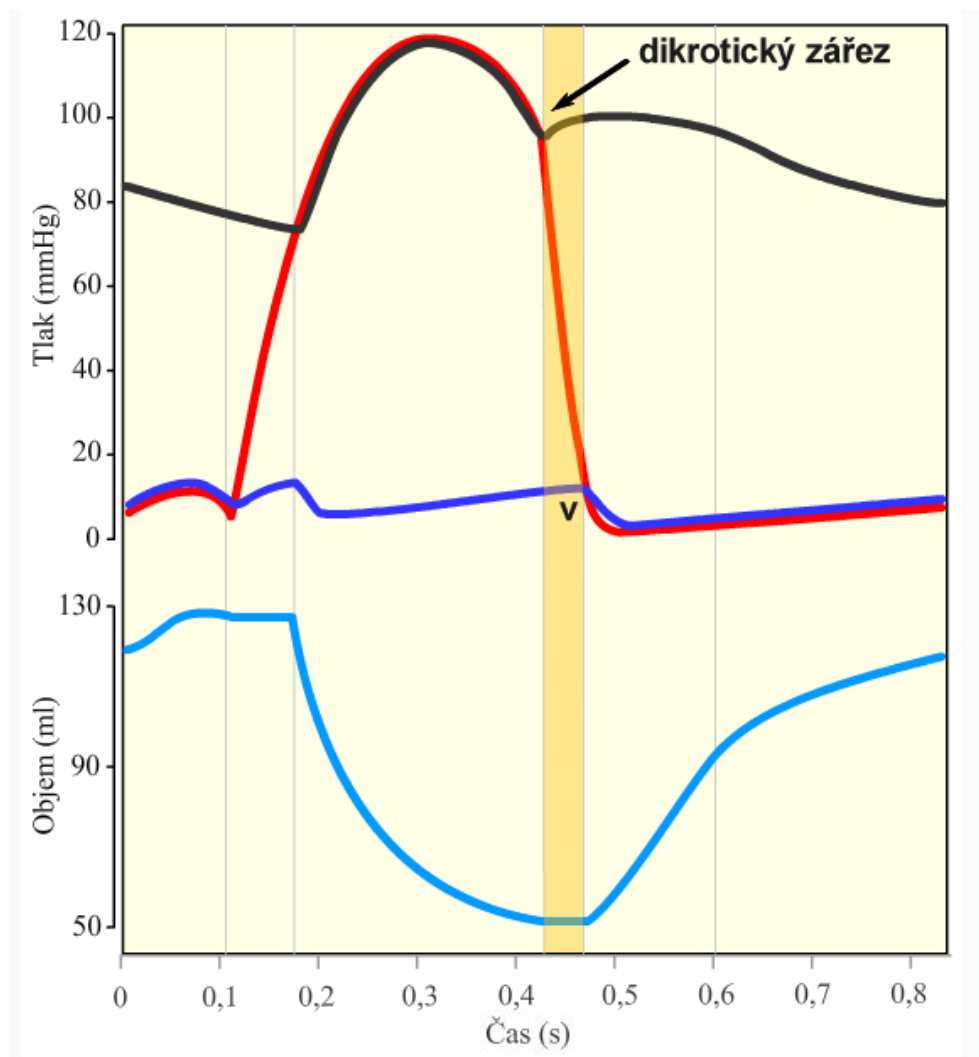
Během izovolumické relaxace, podobně jako během izovolumické kontrakce, jsou všechny chlopně uzavřeny a objem krve v komorách se nemění (proto **izovolumická** fáze). Objem krve v každé komoře je roven endsystolickému objemu (asi 60 ml krve). Relaxace komorové svaloviny vede k rapidnímu poklesu tlaku uvnitř komor, který se na konci izovolumické relaxace v obou komorách blíží k nule (obr. 3.2).

3.3. Žilní puls

Do obou síní kontinuálně přitéká žilní krev, která se hromadí před uzavřenými cípatými chlopněmi. Stoupá intraatriální tlak, což se projeví vznikem pozitivní vlny **v** (obr. 3.2).

3.4. Tlakové změny v tepnách

Pokles krevního tlaku v tepnách malého i velkého oběhu je přerušen krátkodobým zakmitnutím (pokles následovaný vzestupem tlaku), který se označuje jako **dikrotický zářez** a je způsoben uzavřením poloměsíčitých chlopní (obr. 3.2).

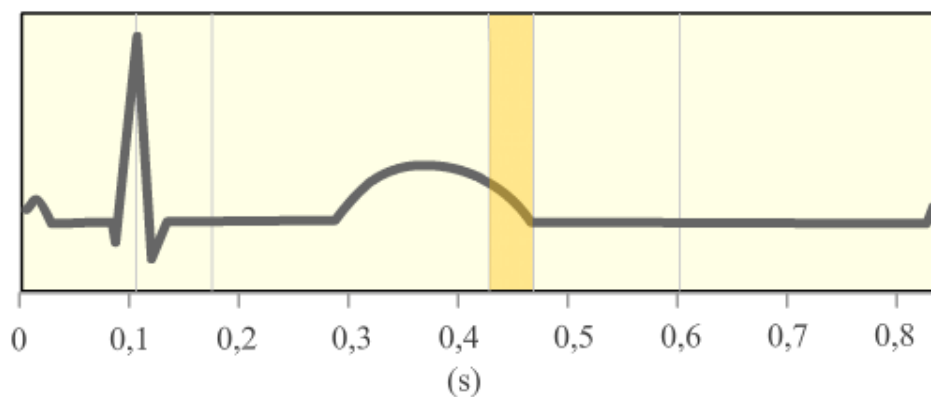


Obr. 3.2. Izovolumická relaxace - tlakově objemové změny

Červená křivka - tlak v levé komoře, **černá** - tlak v aortě, **tmavě modrá** - tlak v pravé síni, **světle modrá** - objem krve v komoře.

3.5. Elektrokardiogram

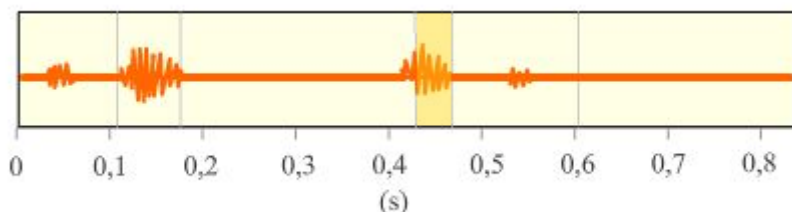
Probíhá dokončení repolarizace komor a EKG záznam se přibližuje izoelektrické linii (obr. 3.3).



Obr. 3.3. Izovolumická relaxace – EKG

3.6. Srdeční ozvy

V této fázi se na fonokardiogramu objevuje **II. srdeční ozva** (obr. 3.4). Tato ozva je způsobena vibracemi krve, poloměsíčitých chlopní, přiléhající komorové svaloviny a cév vznikajících v důsledku uzavření poloměsíčitých chlopní.



Obr. 3.4. Izovolumická relaxace – srdeční ozvy

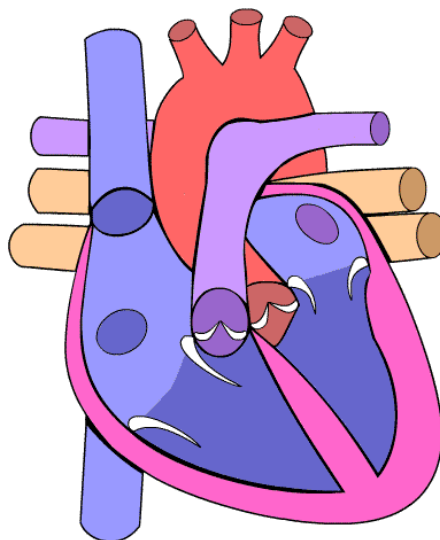
4. Fáze rychlého plnění

4.1. Srdce

Jakmile snižující se nitrokomorový tlak klesne pod hodnotu tlaku v síních, otevřou se cípáté chlopně a komory se začnou plnit krví. Poloměsíčité chlopně jsou v této fázi uzavřeny (obr. 4.1).

4.2. Tlakově objemové změny v srdci

V této fázi se komory rychle plní krví, která se kumulovala v síních před otevřením cípátých chlopní. Do komor přitéká hlavní podíl krve z celkového plnicího objemu. Přestože se rychle zvyšuje objem krve v obou komorách, nitrokomorový tlak se díky relaxované komorové svalovině příliš nemění a je blízký nule (= diastolický tlak, obr. 4.2).



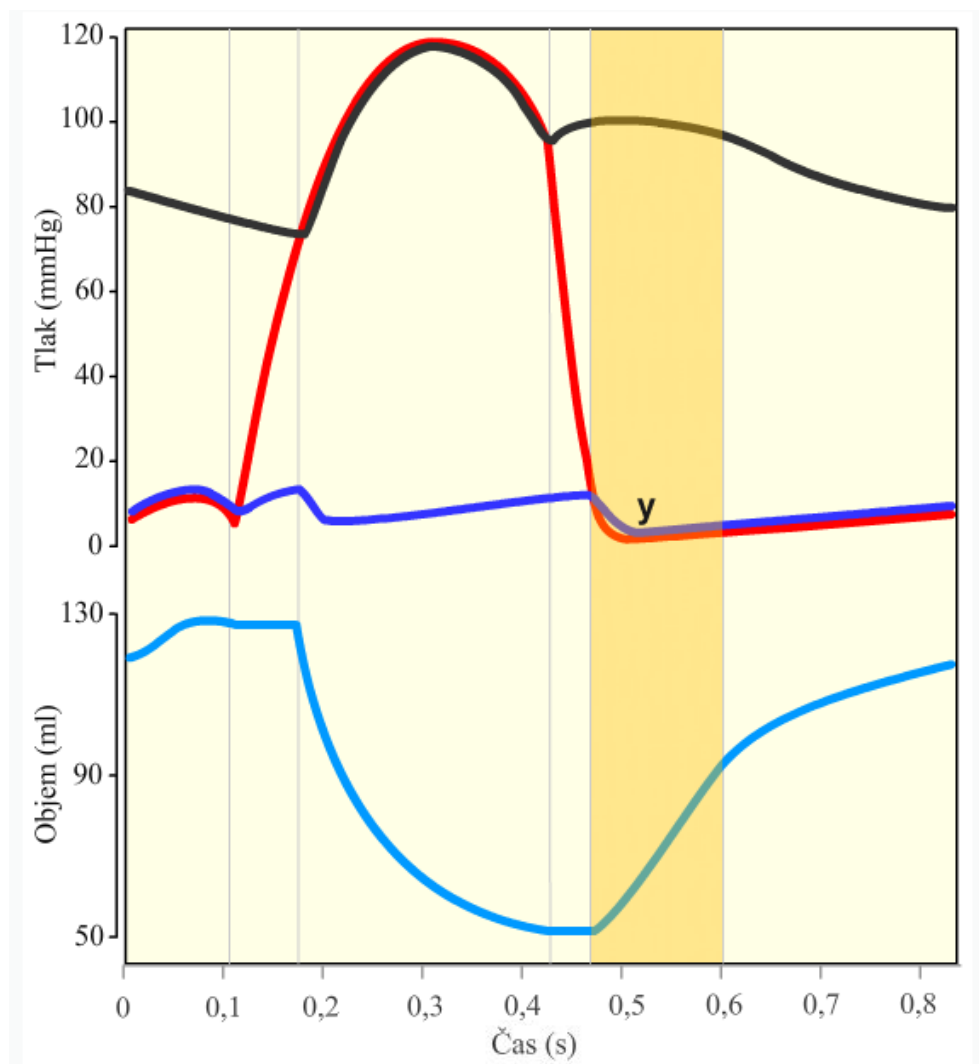
Obr. 4.1. Fáze rychlého plnění

4.3. Žilní puls

Tok krve ze síní do komor vede k poklesu tlaku v síních, na flebogramu se objevuje negativní **vlna y** (obr. 4.2).

4.4. Tlakové změny v tepnách

Po uzavření poloměsíčitých chlopní tlak krve ve velkých tepnách klesá. Díky „pružníkovému efektu“ elastických cév neklesá tlak v tepnách během diastoly na nulovou hodnotu jako je tomu v srdečních komorách. Nejnižší hodnota krevního tlaku během srdečního cyklu (= **diastolický tlak**) má hodnotu asi **80 mmHg** v tepnách velkého oběhu a **8 mmHg** v tepnách malého oběhu (obr. 4.2).

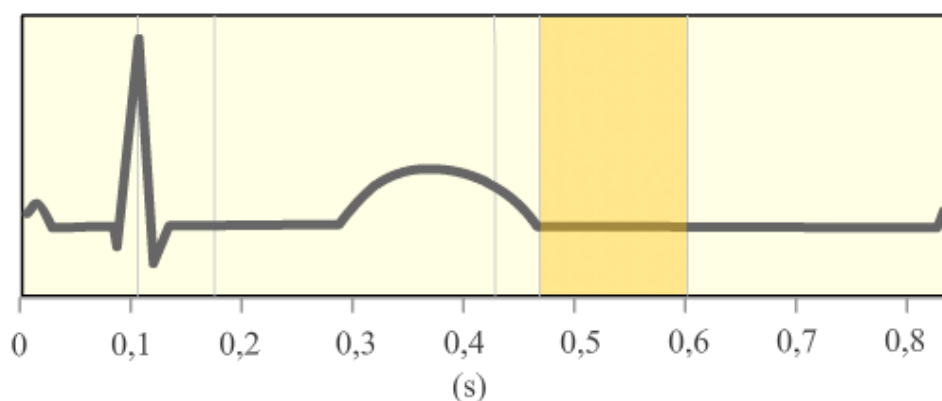


Obr. 4.2. Fáze rychlého plnění - tlakově objemové změny

Červená křivka - tlak v levé komoře, **černá** - tlak v aortě, **tmavě modrá** - tlak v pravé síni, **světle modrá** - objem krve v komoře.

4.5. Elektrokardiogram

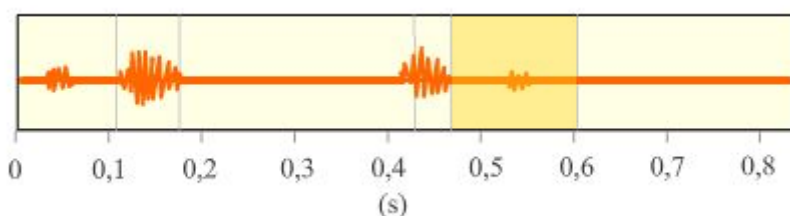
Po síních ani po komorách se nešíří žádná elektrická aktivita a na EKG je přítomna izoelektrická linie (obr. 4.3).



Obr. 4.3. Fáze rychlého plnění – EKG

4.6. Srdeční ozvy

U některých jedinců může rychlý vtok krve do komor způsobit zvukový fenomén označovaný jako **III. ozva srdeční** (obr. 4.4).



Obr. 4.4. Fáze rychlého plnění – srdečné ozvy

5. Fáze pomalého plnění

5.1. Srdce

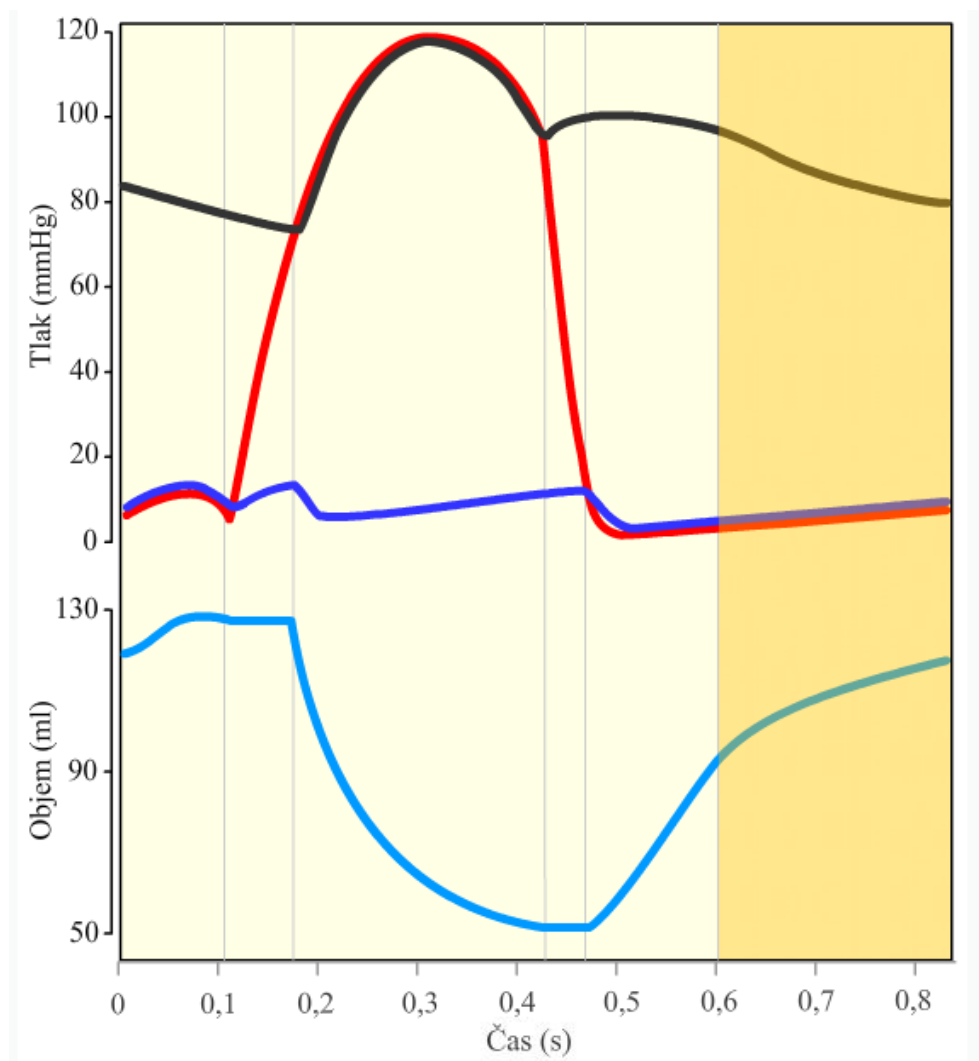
Cípaté chlopně zůstávají otevřeny, poloměsíčitě chlopně jsou v uzavřeném stavu.

5.2. Tlakově objemové změny v srdci

Během této fáze přitéká do komor menší objem krve (ve srovnání s rychlou plnicí fází). Jedná se o krev, která žilami přitéká do síní a kontinuálně protéká síněmi do komor. Tlak krve v obou komorách je blízký nule (obr. 5.1). Fáze pomalého plnění je rovněž označována jako **diastáza**.

5.3. Tlakové změny v tepnách

Tlak v tepnách systémového a plicního oběhu mírně klesá a přibližuje se k hodnotě diastolického tlaku (obr. 5.1).

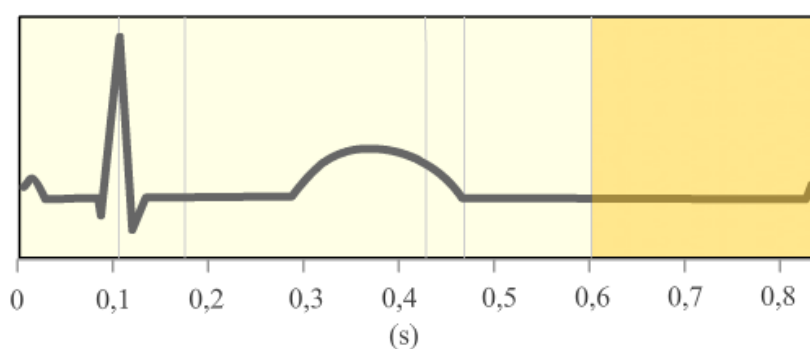


Obr. 5.1. Fáze pomalého plnění - tlakově objemové změny

Červená křivka - tlak v levé komoře, **černá** - tlak v aortě, **tmavě modrá** - tlak v pravé síni, **světle modrá** - objem krve v komoře.

5.4. Elektrokardiogram

Na konci této fáze vychází ze sinoatriálního uzlu vzruchová aktivita, která se šíří po stěně obou síní a na EKG se objevuje počátek **vlny P** (depolarizace síní, obr. 5.2).



Obr. 5.2. Fáze pomalého plnění - EKG

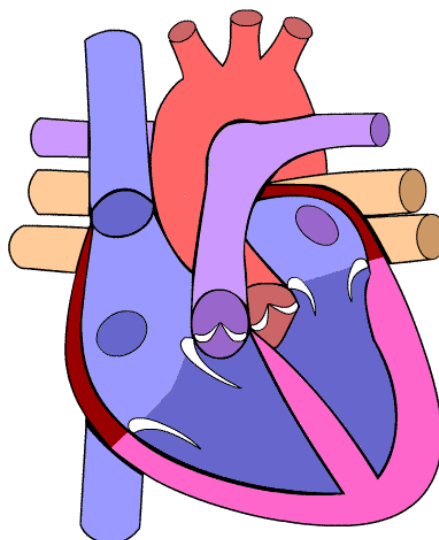
6. Systola síní

6.1. Srdce

Systola síní je poslední fází diastoly, při které se dokončuje plnění komor. Cípaté chlopně jsou otevřeny, poloměsíčité chlopně jsou uzavřeny. Během této fáze dochází ke kontrakci síňové svaloviny (obr. 6.1).

6.2. Tlakově objemové změny v srdci

Ze síní je do komor vypuzeno asi 20-30% z celkového plicního objemu. Vzhledem k tomu, že komorová svalovina je v této fázi relaxována, nedochází k významnému vzestupu komorového tlaku, přestože se komory plní krví. Hodnota tlaku krve v obou komorách je blízká nule (obr. 6.2). Na konci systoly síní je v každé komoře přibližně 130 ml krve, tento objem je označován jako **enddiastolický objem** (obr. 6.2). Význam této fáze nabývá na důležitosti zejména při zvyšování srdeční frekvence, kdy se významně zkracuje trvání diastoly a tím i časový prostor pro plnění komor.



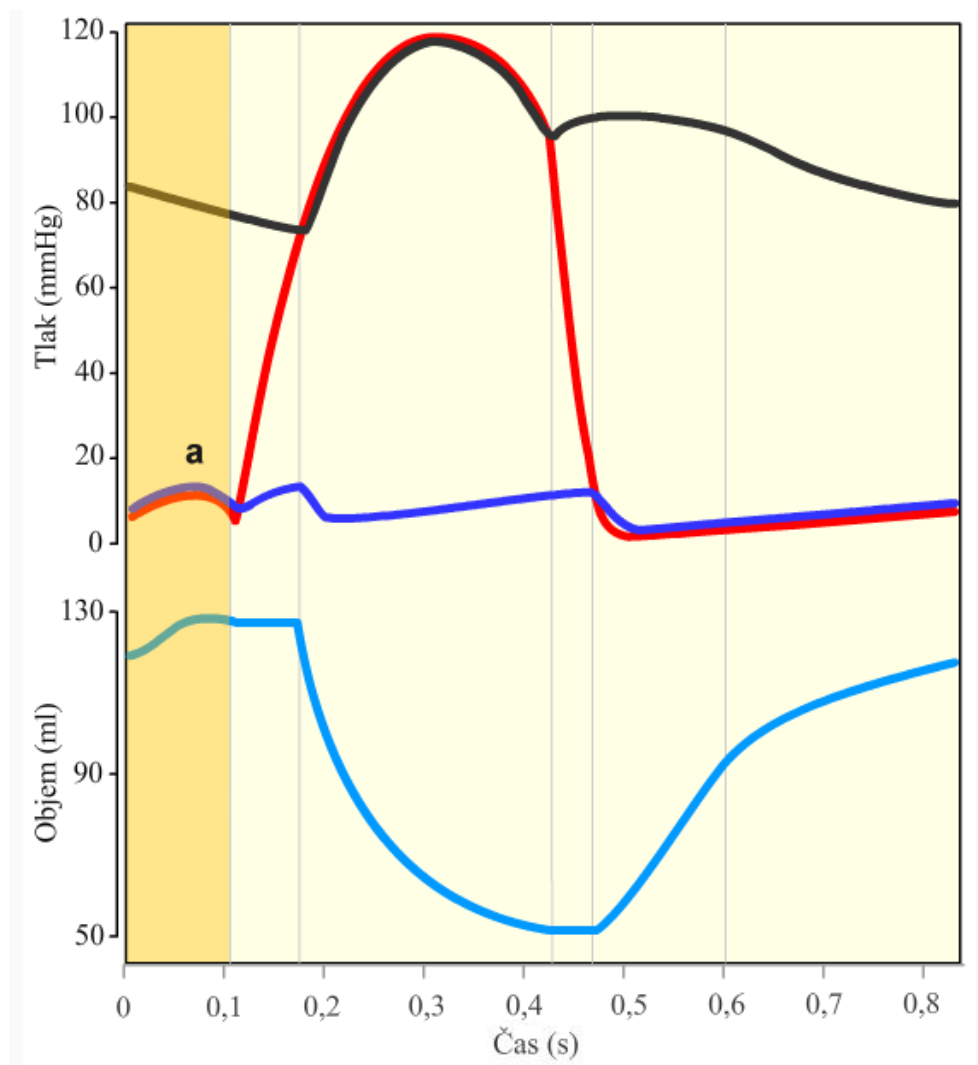
Obr. 6.1. Systola síní
Kontrakce je znázorněna ztmavnutím svaloviny

6.3. Žilní puls

Kontrakce svaloviny síní vede ke zvýšení tlaku v obou síních, což se na flebogramu projevívá vznikem pozitivní vlny **a** (obr. 6.2).

6.4. Tlakové změny v tepnách

Tlak v tepnách systémového a plicního oběhu mírně klesá, na konci této fáze je roven hodnotě diastolického tlaku (obr. 6.2).

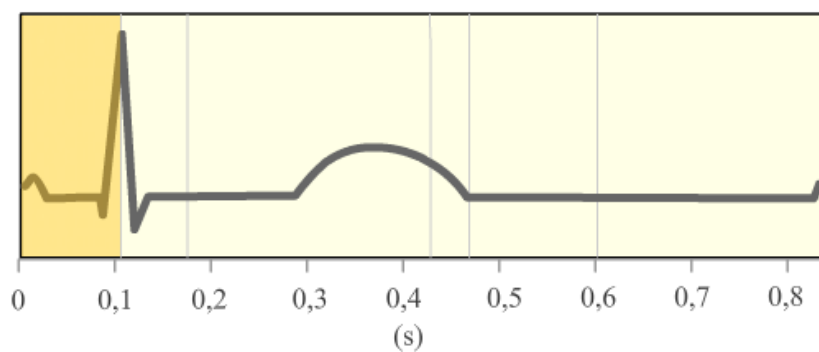


Obr. 6.2. Systola síní - tlakově objemové změny.

Červená křivka - tlak v levé komoře, **černá** - tlak v aortě, **tmavě modrá** - tlak v pravé síni, **světle modrá** - objem krve v komoře

6.5. Elektrokardiogram

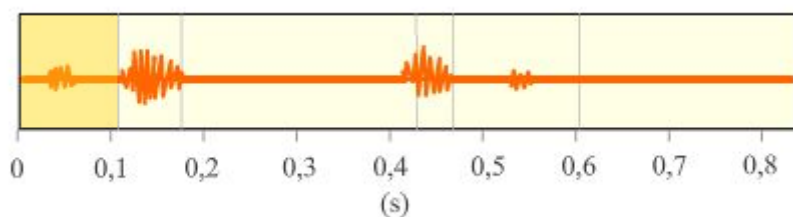
Na začátku síní systoly se dokončuje depolarizace obou síní a na EKG lze registrovat konec vlny **P**. Během systoly síní je svalovina obou síní kompletně depolarizována a elektrický vzruch přechází na atrioventrikulární uzel. Na EKG se proto objevuje izoelektrická linie – **segment PR** (obr. 6.3).



Obr. 6.3. Systola síní - EKG

6.6. Srdeční ozvy

Zcela výjimečně je u zdravých jedinců přítomna **IV. ozva srdeční**, která je způsobena zrychleným plněním komor krví při systole síní (obr. 6.4). Za patologických situací se IV.ozva objevuje zejména při zvýšeném síňovém tlaku nebo při snížené poddajnosti srdeční komory (například při srdeční hypertrofii).



Obr. 6.4. Systola síní - srdeční ozvy