

# Hojení poranění pohybového aparátu a rehabilitace

MVDr. Kvapilová Renata a MVDr. Kvapil Roman

Častými případy v ordinacích veterinárních lékařů jsou úrazy různé etiologie a různých částí pohybového aparátu. Poranění můžeme definovat jako porušení integrity anatomické, fyziologické a funkční tkáně v těle.<sup>2</sup> Ošetření těchto poranění můžeme rozdělit na okamžité ošetření po jejich vzniku a ošetření vedoucí k obnovení stávající funkce poraněné části pohybového aparátu, pokud možno navrácení plné funkčnosti. Dnešní veterinární medicína nabízí bohaté spektrum akutního ošetření poranění pohybového aparátu různými postupy. Jde ve většině případů o navrácení anatomické a fyziologické integrity. Navrácením funkční integrity se zabývá obor rehabilitace. Většinou nedílnou součástí ošetření těchto poranění je také imobilizace dané končetiny a zde může docházet k dalšímu poškození souvisejících tkání.

Rehabilitace pacientů s akutním nebo i chronickým ortopedickým poraněním zahrnuje aplikaci kontrolovaných procedur na tkáň pro zlepšení jejich síly, kondice a funkce. Je důležité vědět jak bezpečně remobilizovat tkáň po poranění a po období imobilizace. Rehabilitace může dostatečně ovlivnit tkáň tak, aby se pozitivně ovlivnilo jejich uzdravení. Pokud je tkáň nadměrně zatížena, může naopak dojít k jejímu poškození a prodloužit tak dobu uzdravení nebo způsobit její další poškození. Musí se najít rovnováha mezi potřebou chránit tkáň před dalším poškozením a podpořením hojení a potřebou zabránění poškození tkání jejich nepoužíváním. Abychom našli tuto rovnováhu a mohli správně načasovat rehabilitační procedury u těchto pacientů, měli bychom mít znalosti o procesu hojení jednotlivých tkání.

## Obecné hojení tkání

Při každém poranění začínají v tkáních probíhat komplexní série procesů, které zahrnují buněčnou a biochemickou odpověď na poškození, které v konečném důsledku vedou k zahojení poranění. Tyto mikroskopické procesy jsou započaty, zprostředkovány a udržovány biochemickými mediátory nazývanými cytokiny a růstové faktory.<sup>3</sup> Množství těchto procesů závisí na závažnosti a počtu poraněných tkání. Cílem je regenerace nebo reparace poškozených nebo traumatizovaných tkání. Regenerace a reparace jsou součástí hojení. Hojení poranění obvykle probíhá ve třech hlavních fázích: záněť, reparace (proliferace nebo fibroblastická fáze) a remodelace (maturace). Mezi těmito fázemi nejsou ostré hranice, jedna postupně přechází v druhou a v jednom okamžiku můžeme nalézt důkaz o přítomnosti dvou fází hojení, i když obecně na sebe navazují tak, jak si uvedeme dále. Toto je ovlivněno druhem poškozené tkáně a závažností poškození.<sup>1,2</sup>

### 1. Zánětlivá fáze

Tuto fázi hojení můžeme dále rozdělit na akutní vaskulární odpověď a následovanou infiltrací buněk. Okamžitá vaskulární odpověď je vlastně hemostáze v ráně. Porušení krevních cév při poranění umožňuje extravaskulární pohyb krevních elementů a styk extravaskulárního kolagenu s trombocyty, což je startem pro koagulační kaskádu. Výsledkem koagulační kaskády je tvorba fibrinové sítě nutné pro vznik hemostatické zátky a tato potom slouží jako místo pro celulární infiltraci.

Celulární aspekt zánětlivé fáze následuje po vaskulární odpovědi. Uvolněním cytokinů ve spojení s hemostatickou zátkou a zvýšená permeabilita cév začíná chemotaxe buněk do rány.

Neutrofilů jsou první buňky migrující do místa poranění, objevují se asi 6 hodin po poškození a jejich migrace do místa poranění vrcholí 2. – 3. den. Role neutrofilů je počáteční debridement a fagocytóza mikroorganismů, čímž minimalizují vznik potenciální infekce. Míra působení neutrofilů v ráně závisí na závažnosti poranění a stupni kontaminace. Přínos neutrofilů v nekontaminované ráně není důležitý pro její normální hojení.

Druhým druhem buněk, které se objeví v místě poranění, jsou makrofágy. Tyto se v místě poranění objeví asi 24 až 48 hodin po migraci neutrofilů. Přítomnost makrofágů v místě poranění je klíčová pro přechod z fáze zánětlivé k fázi reparační. Mají pět hlavních funkcí: fagocytóza, debridement rány, regulaci syntézy matrix, odvod a aktivace buněk a angiogeneze. Fagocytóza a debridement rány se dějí za uvolnění kyslíkových radikálů, oxidu dusného a kolagenáz. Ve spolupráci s neutrofilů, makrofágy vytvářejí optimální prostředí pro započítí reparační (fibroblastické) fáze hojení rány. Tato aktivita je v maximu během prvních 3 až 4 dnů po poranění. Kromě toho makrofágy uvolňují cytokiny, růstové faktory, prostaglandiny a enzymy, které následovně aktivují a řídí angiogenezi a fibroplazii. Makrofágy hrají pravděpodobně centrální roli v kontrole celulárních a biochemických procesů v hojení rány. Výskyt makrofágů přitahuje a aktivuje lymfocyty. Lymfocyty sekretují lymfokiny jako interferony a interleukiny, kterrě stimulují migraci fibroblastů a syntézu kolagenu. Vrchol jejich aktivity je asi 6 dní po poranění.

## 2. Reparační fáze

Reparační (proliferativní nebo fibroblastická) fáze hojení rány je charakterizovaná celulární odpovědí endoteliálních buněk a fibroblastů. Proliferace fibroblastů a jejich migrace predominují a jsou následovány syntézou matrix – kolagenu, elastinu a proteoglykanů. Fibroblasty se začínají objevovat v místě poranění během 3 dnů po jeho vzniku. Po lag fázi, která trvá 2 až 3 dny začínají tvořit kolagen a proteoglykany. Syntéza matrix se potom zvyšuje během následujících několika týdnů, a tím se současně zvyšuje síla v tahu v místě poranění.

Kromě toho v této fázi začínají proliferovat endoteliální buňky a tvoří nové kapiláry, které postupně migrují do rány. Nově tvořené kapiláry vznikají bezprostředně po začátku migrace fibroblastů a tvorbě kolagenové sítě a pokračují do doby, než je nastavena normální tenze kyslíku v místě poranění. Tato hustá síť makrofágů, fibroblastů a neovaskularizace během proliferativní fáze se nazývá granulační tkáň.

## 3. Remodelační (maturace) fáze

Remodelační fáze je konečnou fází hojení poranění, během níž dochází k reorientaci kolagenických vláken paralelně s liniemi působení síly a vlákna orientovaná napříč těmto vláknům potom vytvářejí stabilní síť. Toto je nejdůležitější aspekt hojení rány pojivových tkání, protože vhodná depozice kolagenu a poloha jsou důležité pro vývoj adekvátní síly v tahu v zahojené tkáni. Ačkoliv depozice kolagenu dosahuje maxima 2 až 3 týdny po poranění, síla v tahu se postupně progresivně zvyšuje během 1 roku. Toto období je charakteristické odstraněním biomechanicky horších vláken kolagenu (typ III) a jejich náhrzení vláknů vhodnými pro specifickou tkáň (obecně kolagen typu I). Kromě toho snížená koncentrace proteoglykanů vede ke snížení obsahu vody, což má a následek kompresi kolagenických vláken. Čím jsou vlákna těsněji u sebe, tím se zvětšuje plocha pro jejich překřížení a tím se zvětšuje síla v tahu. Proto je důležitá rovnováha mezi kolagenolýzou a akumulací matrix.<sup>1,2</sup>

Při poranění pohybového aparátu může dojít k poranění následujících tkání kost, šlachy, vazy a kloubní chrupavky. O průběhu jejich hojení a jejich vlivu procesů hojení na rehabilitaci se zmíníme v další části článku

## Hojení kosti

Kost je tkáň, která se hojí přímou buněčnou regenerací a obnoví 100% svých biomechanických vlastností. Hojení kosti můžeme rozdělit na primární hojení kosti a sekundární hojení kosti.

K primárnímu hojení kosti dochází, když mezi částmi fraktury je minimální mezera (do 0,5 mm) a fraktura je stabilní. Primární hojení fraktury probíhá kontaktním nebo mezerovým hojením. Kontaktní hojení probíhá u fraktur s mezerou mezi úlomky menšími než 0,1 mm. V linii lomu se vytváří resorpční dutina, kde dochází působením osteoklastu odstranění kosti a kalcifikované matrix, za nimi následuje činnost osteoblastů. Pokud je mezera mezi úlomky fraktury větší než 0,1 mm, ale není větší než 0,5 mm, dochází tzv. mezerovému hojení. Tato mezera nemůže být přímo opravena resorpční dutinou. Mezera je vyplněna lamelární kostí a teprve potom je nahrazena resorpční dutinou jako u kontaktního hojení. U primárního hojení kosti se tvoří minimální rentgenologický kalus a linie fraktury postupně mizí. I když se při primárním hojení tvoří hned nová kost bez tvorby fibrózní nebo chrupavčité tkáně, toto neredukuje dobu hojení fraktury. Je potřeba týdnů až měsíců pro kompletní spojení. Při primárním hojení kosti ve srovnání se sekundárním hojením klesá ranná stabilita, proto je nutné delší doby pro odstranění stabilizujících implantátů.

Sekundární hojení probíhá u nestabilních fraktur s mezerou mezi úlomky větší než 0,5 mm. Toto hojení je charakteristické tvorbou kalu. Velikost kalu je dána velikostí nestability fraktury. Hojení takové fraktury probíhá podle obecného schématu hojení poranění. Během 24 až 72 hodin probíhá zánětlivá fáze. V reparativní fázi během prvních 3 týdnů se vytvoří fibrozní a chrupavčitý měkký kalus. Funkcí kalu je spojení konců fraktury a snížení pohybu fragmentů. Remodelační fáze potom začíná při přechodu z měkkého fibrochrupavčitého kalu na tvrdý – osifikovaný kalus, což se děje endochondrální osifikací. Po vzniku osifikovaného kalu dochází k jeho remodelaci na původní kost lamelární. Po vytvoření kalu můžeme kontrolovanými mikropohyby stimulovat vlastní remodelaci kosti.

Primární i sekundární hojení probíhá zhruba ve stejných časových intervalech. Kalus při sekundárním hojení se rentgenologicky objeví 10 až 12 dní od poranění. Zmizení linie fraktury dochází po 30 dnech. Primární hojení kosti trvá déle. Ke kompletní remodelaci kalu dochází 90 dní po vyhojení fraktury. Primární hojení kosti bez kalu vytváří méně stability, než sekundární hojení a proto je nutné ponechat stabilizační implantáty na místě po delší dobu, než při sekundárním hojení. Hojení a síla kosti je rychlejší u sekundárního hojení. Hojení je ovlivněno namáháním mezi fragmenty, minimálním věkem, povahou a lokalizací fraktury, výskytem nebo chyběním souběžného onemocnění a chirurgickou metodou fixace. Klinické spojení definováno jako odolání zatížení tak, že může být odstraněna fixace. Ke klinickému spojení kostí dochází rozdílně podle věku poraněného zvířete. V tabulce uvádíme věk psa a dobu, kdy dojde ke klinickému spojení.

Tabulka: Věk psa a doba klinického spojení fraktury

Věk psa	Klinické spojení fraktury
Štěně do 3 měsíců	2 – 4 týdny
Štěně 3 – 6 měsíců	4 – 12 týdnů

Štěně 6 – 12 měsíců	5 – 8 týdnů až 3 – 5 měsíců
Dospělý pes nad 1 rok	7 – 12 týdnů až 5 – 12 měsíců

(Millis, 2014)

## Vliv na rehabilitaci

Během zánětlivé fáze se snažíme tlumit bolestivost, minimalizovat zánět měkkých tkání, udržet zdraví kloubů a zajistit bezpečnou, kontrolovanou mobilitu v závislosti na stabilitě fraktury. Během reparační fáze (3 dny až 4-6 týdnů) můžeme provádět malé, pomalu se zvyšující cyklické natažení pro zvýšení mikropohybů a zlepšení tvorby svalku a pokračovat v udržování zdraví kloubů pomocí aktivního a pasivního rozsahu pohybu.<sup>1</sup>

## Hojení svalů

K poranění svalů dochází lacerací, kontuzí, rupturou, ischemií a namožením. Namožení se popisuje jako poranění svalu nebo šlachy s tendencí vzniknout blízko myotendinózního spojení. Častou příčinou nepenetrující poranění je silná kontrakce svalu s pasivní extenzí. Poškození svalu má za následek roztržení svalových vláken a porušení vaskulární a pojivové podpurné tkáně.

Hojení svalu probíhá stejnými fázemi jako obecné hojení poranění. Po vytvoření hematomu, vzniká edém a ischemie, což má za následek nekrózu okolních prasklých svalových vláken. Počáteční zánětlivá fáze pokračuje odstraněním nekrotické debris pomocí neutrofilů a makrofágů během 24 až 72 hodin. Podstatnou komponentou hojení poranění svalů je obnovení zásobení poškozených vláken krví. Reparační fáze následuje a zahrnuje procesy regenerace funkčních svalových vláken nebo vytvoření fibrózní tkáně jizvy, v závislosti na velikosti poranění. Reparační fáze v jizevnatou tkáň není žádoucí, protože vzniká větší šance k opětovnému poškození a snížení kontraktilní síly svalu asi o 50%. Reparační fáze zahrnuje produkci extracelulární matrix fibroblasty. Myoblastické zárodečné buňky z okolí rány a mononukleární leukocyty migrují k životaschopnému konci svalových vláken a vyplňují mezeru a vytvářejí zdroj pro vytvoření myotubulů. Alternativní forma hojení svalu vzniká, když není adekvátní zdroj myoblastů, nedostatečná vaskularizace, nedostatečná inervace nebo nadměrný stres na poškozené místo. V těchto situacích vzniká depozice nadměrného množství kolagenu a aktivita fibroblastů vede k tvorbě fibrózní tkáně.

Prodloužená imobilizace dovoluje penetraci regenerujících svalových vláken a snižuje tvorbu fibrózní tkáně. Nicméně svalová vlákna mají tendenci se orientovat nesprávně k linii stresu a pnutí. To snižuje sílu svalových vláken v tahu a když k tomu vzniká více fibrózní tkáně během remodelační fáze, dochází k signifikantní ztrátě svalové síly. Počáteční imobilizace po dobu 3 až 5 dní následovaná kontrolovanou mobilizací akceleruje objevení se vláken kolagenu typu I a následně zvětšení síly v tahu. Bereme-li v úvahu normální hojení, doporučení je 4 až 6 týdnů chráněné aktivity před zvýšením aktivity. Načasování vhodného stresu a pohybu v místě poranění jsou důležité na typ hojení. Pro optimální hojení svalových vláken a návrat k maximální funkci, pohyb v místě poranění nemá začít, pokud hojení není ve fázi reparativní nebo časně remodelace. Během těchto fází se svalová vlákna rovnají paralelně k linii působení vhodného stresu. Při nadměrném pohybu, mezera se zvětšuje a sval s hojí více fibrózní tkání.

## Vliv na rehabilitaci

Snížení svalové kontrakční síly je vztaženo ke stupni poranění a vrůstání fibrózní tkáně. Rehabilitace závisí na rozsahu poranění (např. stupeň natažení, ruptury). U mírného natažení , 3 -

5 denní imobilizace následována aktivní svalovou kontrakcí vykazuje lepší penetraci svalových vláken přes jizevnatou tkáň a větší svalovou sílu a objem svalu. Při natržení svalu se doporučuje imobilizace minimálně 2-3 týdny k podpoře reparace, podporuje se tvorba nového kolagenu a snáší lépe remobilizační stres. Při rehabilitaci kompletní ruptury svalu se doporučuje mírná aktivita 4-8 týdnů po zranění. Po 8-12 týdnu je možná neomezená aktivita.<sup>1</sup>

## Hojení šlach

Proces hojení šlach probíhá ve stejných fázích jako obecné hojení ran s počáteční fibroplasií a depozicí kolagenu a následnou maturací a reorientací kolagenních vláken. Primární rozdíl v hojení šlach je v tom, zda je šlacha pokrytá tkání s cévami tzv. paratenonem nebo synovií. V prvním případě fibroblasty a kapiláry snadno pronikají k poškozené šlaše. V druhém případě je potřeba delšího času pro dosažení adekvátní síly v tahu a hojení, protože proces hojení závisí na vlastním zásobení krví nebo zánětlivé infiltrací hojící se tkáně. Proto imobilizace je extrémně důležitá v počáteční fázi, aby se zabránilo tvorbě mezery v místě hojení.

V raném stádiu hojení šlachy dochází k průniku buněk z okolní tkáně šlachy, aby byla umožněna fagocytóza, fibroplazie a následná depozice kolagenu. Jde o vnější proces hojení. Zánětlivé stádium je patrné během prvních 3 dní a rychle následuje depozice náhodně orientovaných vláken kolagenu pátý den. Reparační fáze následuje se zvyšujícím se množstvím uloženého kolagenu během prvních 4 týdnů. Produkce kolagenu je největší 5. – 12. den po poranění a významně klesá 60.den. Výzkumy ukázaly, že hojení šlachy ukládáním kolagenu, potřebuje minimálně 28 dní, aby se vlákna orientovala paralelně k linii stresu, Kromě toho, kolagenové svazky jsou rozeznatelné od normální šlachy až 112 dní po poranění. Vnitřní proces hojení může být stimulován kontrolovanou mobilizací, snížením rizika tvorby adhezí a vytvořením větší síly v tahu a umožňující správnou polohu vláken kolagenu podél linie stresu. Ideálně kontrolovaný pasivní pohyb začíná 21 den reparace, nicméně trvání a rozsah pohybu pro optimální hojení je neznámé. Cílem terapie je minimalizace tvorby adhezí a návrat maximální funkčnosti. Vhodnou terapií je chirurgická apozice poškozených konců šlachy. Při hojení šlacha dosáhne v 6. týdnu 56% normální síly v tahu, v 1 roce 79%. Synoviální (avaskulární) šlacha potřebuje delší dobu hojení, než vaskulární šlacha.

### Vliv na rehabilitaci

Post reparační imobilizace u velkých šlach může být nutná po dobu 6 týdnů. Tato prodloužená imobilizace může být škodlivá. Kompletní imobilizace delší než 21 dní má za následek redukovanou vaskularizaci. Při úplné nebo částečné transekcii a chirurgické opravě, je optimální začít s pasivní mobilizací 5 dní po chirurgickém zákroku. S kontrolovanou pasivní mobilizací pokračuje 21 dní, čímž podpoříme vnitřní hojení, zvýšíme sílu v tahu a redukujeme tvorbu adhezí. Konzervativní pohyb s lehkým zatížením může začít v 6 týdnech, protože šlacha již má 25-50% normální síly v tahu a je schopná odolat normální síle svalů. Minimálně 12 týdnů provádíme menší zatížení. Mírný pohyb pomáhá udržet normální rozsah pohybu kloubů. Dostatečné síly v tahu pro normální aktivitu je dosaženo po měsících.

## Hojení vazů

Vazy se hojí různě v závislosti na jejich lokalizaci. Například hojící se potenciál mediálního kolaterálního vazů kolene je dobrý, ale kraniální zkřížený vaz kolene nevykazuje odpověď hojení po poškození. Vazy se hojí stejnými mechanismy popsanými u obecných procesů hojení. Ihned po poranění vznikne organizovaný hematoma, okolní tkáň se stane edematózní. Do místa poranění se dostanou buňky zánětu monocyty a makrofágy. Toto stádium

trvá 48 až 72 hodin. Reparační fáze začíná 2 až 3 dny po poranění a trvá asi 6 týdnů. Predominuje tvorba matrix a celulární osídlení. Defekt se vyplňuje granulační tkání s cévami. Vzniklá jizva obsahuje první týdny mnoho buněk, především fibroblastů, které syntetizují kolagen. Remodelační fáze může trvat i více než 12 měsíců. V této době je síla v tahu jen 50 až 70% původní síly. Část ztráty síly v tahu je způsobená ztrátou kosti v místě inserce vazů. Hojení vazů je rychlejší než hojení kosti. Faktory důležité pro vlastní hojení tkáně jsou apozice konce vazů, nutriční stav, endokrinologické nerovnováhy, závažnost poranění, zásobení krví a mechanického stresu na hojící se tkáň. V závislosti na stupni zranění trvá hojení několik dní až více než rok. V 1 roce dosahuje zhojený vaz 50-70% síly v tahu. Vlastnosti hojení a rychlost jsou závislé na tom, který vaz je poškozen. Přetržený mediální kolaterální vaz kolene má sílu 52% po 14 týdnech hojení

Vliv na rehabilitaci

Doba začátku rehabilitace se liší velmi podle vazů, který je poškozen. Parametry pro zahojení vazů mohou být následující. Redukce síly v tahu je zpomalena nebo snížena imobilizací kloubu a redukcí stresu. Krátkodobý (30 minut) a častější (6 dní v týdnu) pohyb je nejvhodnější na získání síly vazů, jak se zjistilo ve studiích u koní.<sup>1</sup>

### **Hojení chrupavky kloubu**

Limitujícím faktorem hojení chrupavky je její avaskulární povaha. Poškození artikulárního povrchu má za následek dvě rozdílné odpovědi v závislosti na tom, zda její poškození vznikne na povrchu chrupavky nebo postihne i subchondrální kost. Poranění jen povrchu chrupavky má za následek lokální zánik chondrocytů a následnou ztrátu matrix. V tomto defektu chybí fibroblastická odpověď a lokální chondrocyty musí proliferovat a vyplnit defekt novou matrix. Chondrocyty odpovídají zpočátku zvýšenou mitotickou aktivitou. Nicméně chondrocyty nemohou kompletně vyplnit defekt a léze přetrvává. Poranění dosahující subchondrální kosti dovoluje přístup kmenových buněk z kostní dřevě a krevních kapilár do defektu chrupavky. A tak zde probíhají stejné fáze hojení jako při obecném hojení ran. Po počátečním debridementu a zánětlivé fázi začne během 5 až 7 dnů vyplnění defektu kolagenem a vzniká fibrózní chrupavka. Po 2 měsících se defekt vyplní matrix bohatou na proteoglykany. Hojení poranění pokračuje remodelací a maturací. V 6 měsících signifikantně klesá koncentrace glykosaminů a v reparované chrupavce zjistíme vyšší obsah dermatanu sulfátu, jehož molekula je menší a méně vydrží ve srovnání s glykosaminoglykany. Vyhojená chrupavka je více fibrózní a je biomechanicky horší než původní hyalinní chrupavka. Jedním z konceptů při hojení artikulárních defektů je koncept raného kontinuálního pasivního pohybu, protože prodloužená imobilizace ovlivňuje negativně biomechanickou a biochemickou kapacitu nově vytvořené kloubní chrupavky.

Vliv na rehabilitaci

Kontinuální pasivní pohyb po poranění chrupavky zlepšuje hojení hlavně s hyalinní chrupavkou, jak bylo prokázáno studií u králíků.<sup>1</sup>

Závěr

Hojení poranění u většiny tkání zahrnuje počáteční proces hemostáze následovaný zánětem. Tento umožňuje debridement poškozené oblasti a následnou chemotaxi vhodných buněk pro tvorbu reparativní tkáně. Obecně proces reparace zahrnuje produkci kolagenu, kosti nebo myofibril. K maturaci dochází během času, kdy dochází k vhodné podpoře kolagenu a tkání pro zvýšení rezistence a síly v tahu. Započítí fyzikální rehabilitace v době po operaci, je důležité, a

techniky musí být použity ke zvýšení fáze maturace, aby se maximalizoval co nejrychlejší návrat k síle v tahu a funkci. Načasování různých terapeutických modalit je důležité a znalost základních procesů hojení je nezbytně nutná.

Literatura:

1. Millis D., Levine D. Canine Rehabilitation and Physical Therapy. Elsevier Saunders, 2014, 79 - 91
2. Amalsadvala T., Swaim S.F.. Management of Hard – to – Heal Wounds. Vet Clin Small Anim 36 (2006), 693 – 711
3. Hosgood G.. Stages of Wound Healing and Their Clinical Relevance. Vet Clin Small Anim 36 (2006), 667 - 685