

Intraartikulární augmentace parciální ruptury předního zkříženého vazu (ACL) nově vyvinutým UHMWPE biomateriálem v kombinaci s Hexalon ACL/PCL šrouby: ex vivo mechanické testování animálního modelu kolenního kloubu

Intra-Articular Reinforcement of a Partially Torn Anterior Cruciate Ligament (ACL) Using Newly Developed UHMWPE Biomaterial in Combination with Hexalon ACL/PCL Screws: Ex-Vivo Mechanical Testing of an Animal Knee Model

P. FEDOROVÁ¹, R. SRNEC¹, J. PĚNČÍK², M. DVOŘÁK¹, M. KRBEC³, A. NEČAS¹

¹ Oddělení chirurgie a ortopedie, Klinika chorob psů a koček, Fakulta veterinárního lékařství VFU Brno

² Ústav pozemního stavitelství, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně

³ Ortopedicko-traumatologická klinika, Fakultní nemocnice Královské Vinohrady, Praha

ABSTRACT

PURPOSE OF THE STUDY

Recent trends in the experimental surgical management of a partial anterior cruciate ligament (ACL) rupture in animals show repair of an ACL lesion using novel biomaterials both for biomechanical reinforcement of a partially unstable knee and as suitable scaffolds for bone marrow stem cell therapy in a partial ACL tear. The study deals with mechanical testing of the newly developed ultra-high-molecular-weight polyethylene (UHMWPE) biomaterial anchored to bone with Hexalon biodegradable ACL/PCL screws, as a new possibility of intra-articular reinforcement of a partial ACL tear.

MATERIAL AND METHODS

Two groups of ex vivo pig knee models were prepared and tested as follows: the model of an ACL tear stabilised with UHMWPE biomaterial using a Hexalon ACL/PCL screw (group 1; n = 10) and the model of an ACL tear stabilised with the traditional, and in veterinary medicine used, extracapsular technique involving a monofilament nylon fibre, a clamp and a Securos bone anchor (group 2; n = 11). The models were loaded at a standing angle of 100° and the maximum load (N) and shift (mm) values were recorded.

RESULTS

In group 1 the average maximal peak force was 167.6 ± 21.7 N and the shift was on average 19.0 ± 4.0 mm. In all 10 specimens, the maximum load made the UHMWPE implant break close to its fixation to the femur but the construct/fixation never failed at the site where the material was anchored to the bone. In group 2, the average maximal peak force was 207.3 ± 49.2 N and the shift was on average 24.1 ± 9.5 mm. The Securos stabilisation failed by pullout of the anchor from the femoral bone in nine out of 11 cases; the monofilament fibre ruptured in two cases.

CONCLUSIONS

It can be concluded that a UHMWPE substitute used in ex-vivo pig knee models has mechanical properties comparable with clinically used extracapsular Securos stabilisation and, because of its potential to carry stem cells and bioactive substances, it can meet the requirements for an implant appropriate to the unique technique of protecting a partial ACL tear. In addition, it has no critical point of ACL substitute failure at the site of its anchoring to the bone (compared to the previously used PET/PCL substitute).

Key words: knee stabilisation, stifle surgery, ultra-high-molecular-weight polyethylene, UHMWPE, nylon monofilament thread, biodegradable screw, bone anchor.

ÚVOD

Během posledních dvou desetiletí, se pohled na rupturu předního zkříženého vazy (ACL) značně změnil z hlediska možností léčby, indikací k chirurgickému řešení a používaných chirurgických technik, a to u lidí (12, 13, 19) i zvířat, zejména u psů (25, 33). U lidí existuje několik koncepcí s ohledem na celkový management ruptury ACL, založených na jednotlivých skupinách pacientů (akutní, chronický, po předchozích zákrocích, podle věku, pohlaví), poškození dalších struktur kolenního kloubu (menisky, kloubní povrch, atd.), metodě léčby (včetně výběru vhodného tkáňového štěpu, umístění štěpu a metody uchycení štěpu), rehabilitačním protokolu a kritériích pro rekonvalescenci a návrat pacienta k běžným aktivitám (4, 6, 18, 19).

Ve veterinární medicíně je několik strategií chirurgického řešení ruptury ACL a přehled těch nejpoužívanějších byl již bohatě publikován (25, 26, 33, 34). Hlavním kritériem pro volbu chirurgické metody léčby bývá preference chirurga a jeho osobní zkušenosti s danou metodou. V současnosti patří mezi nejpoužívanější metody ve veterinární medicíně:

1. Intrakapsulární metody náhrady ACL (1, 14).
2. Primární rekonstrukce ACL v případě avulzní fraktury (3, 35).
3. Extrakapsulární (EC) stabilizace ruptury ACL (7, 15, 29, 33).
4. Osteotomické metody upravující biomechanické síly působící na končetinu v zátěži, které zahrnují "tibial wedge osteotomy" (TWO), (30), "tibial plateau leveling osteotomy" (31), "tibial tuberosity advancement" (TTA), (22), "modified maquet technique" (MMT), (10), "triple tibial osteotomy" (TTO), (5), která kombinuje TTA s TWO a CBLO (16, 28). V současné době, TPLO, CBLO a TTA jsou považovány za „moderní a aktuální“ metody chirurgické řešení ruptury ACL u psů.

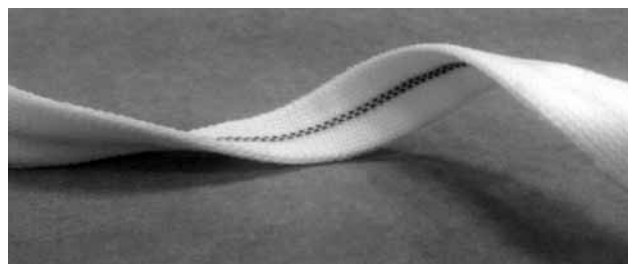
Nehledě na použitou techniku při řešení ruptury ACL, je možné intraartikulární struktury (přední zkřížený vaz, menisky a kloubní chrupavku) ošetřit artroskopicky. Artroskopie je minimálně invazivní zákrok, který poskytuje v perioperativním období pro pacienty množství výhod, a to nejen v humánní, ale i veterinární medicíně (21, 27).

V poslední době probíhá výzkum léčby poškozených vazů také pomocí mezenchymálních kmenových buněk kostní dřeni (MSCs) v kombinaci s novými skafoldy. Výsledky některých studií dávají perspektivu, že by kmenové buňky mohly být při léčbě ortopedických problémů vhodné (23). Naše minulá studie (24) s pokusným modelem miniaturního prasete se možnosti využití skafoldů/MSCs při hojení lézí předního zkříženého vazy taktéž věnovala.

Výsledky ex vivo mechanických testů biomateriálu z polyetylentereftalátu pokrytého polykaprolaktonovými vlákny (PET/PCL), jako vhodného nosiče pro buňky a jiné bioaktivní substance, jež byl navržen pro intraartikulární podporu parciální ruptury ACL na modelu prasečích kolen, byly již publikovány (11). Bylo však zjiš-

těno, že náhrada vazy z PET/PCL měla při testování sice srovnatelné mechanické vlastnosti s klinicky běžně užívaným materiálem polyesterové povahy (Mersilene®) a má schopnosti být vhodným nosičem pro kmenové buňky a bioaktivní látky, ale kritickým místem je selhání této techniky v ukotvení náhrady do kosti Hexalon ACL/PCL šroubem (11). V návaznosti na naše prvotní zjištění, že mechanická pevnost ex vivo modelu kolenního kloubu prasete s neporušeným ACL a modelu s iatrogení parciální rupturou ACL je přibližně stejná, je naším cílem najít takový „podpurný“ materiál pro případy parciálních ruptur ACL, který by vykazoval přibližně stejnou mechanickou pevnost jako ve veterinární chirurgii běžně používané extrakapsulární techniky, aby došlo k revaskularizaci zbylé funkční části ACL, vhojení tohoto izometricky intraartikulárně vedeného graftu a funkční stabilizaci kolenního kloubu. To by mohlo zabránit úplnému přetržení předního zkříženého vazy.

Tato práce se zabývá mechanickým testováním nově vyvinutého biomateriálu ultra-high-molecular-weight polyetylen (UHMWPE) ukotveného do kosti biodegradabilními šrouby ACL/PCL Hexalon™ jako nové a jedinečné techniky intraartikulární augmentace parciální ruptury předního zkříženého vazy (ACL). Domníváme se, že design a struktura nově vyvinutého „rukávu“ z UHMWPE (obr. 1) eliminuje nevýhody v ukotvení biomateriálu do kostního podkladu, které jsme pozorovali v případě testování splétaného vlákna z polyetylentereftalátu potaženého nanovláknem z polykaprolaktonu (PET/PCL) v předchozí studii (11). Zároveň očekáváme potenciál tohoto nového biomateriálu také jako nosiče buněk nebo bioaktivních substancí a/nebo léků.



Obr. 1. Testovaná podpurná náhrada ACL: 6 mm široký „rukáv“ nově vyvinutého biomateriálu UHMWPE.

MATERIÁL A METODIKA

Ex vivo mechanické testování bylo provedeno na preparátu typu kost-vaz-kost. Preparáty byly vytvořeny z kolenních kloubů po porážce mladých jatečních prasat, vytnutím segmentu proximální tibia a distálního femuru. Takto získaný segment kolenního kloubu byl zbaven svalů, kloubního pouzdra, laterálního i mediálního menisku, obou kolaterálních vazů a kaudálního zkříženého vazy. Vytvořený preparát tibia-kraniální zkřížený vaz-femur byl obalen gázou vlhčenou fyziologickým roztokem a do doby provedení testů zamražen na -20 °C (17). Preparáty byly před vlastním testováním připraveny pomalým rozmražením při pokojové teplotě po dobu 12 hodin (11).

V pokusu bylo testováno celkem 21 preparátů rozdělených do dvou skupin. Zavedení všech testovaných syntetických náhrad bylo provedeno stejným způsobem jedním vědeckým pracovníkem k eliminaci diverzity souboru. Do první skupiny byly zařazeny preparáty s iatrogeně simulovanou totální rupturou ACL (vytvořena kompletním přetnutím ACL skalpelovou čepelkou č. 11) a stabilizací předozadního pohybu unikátním nově vyvinutým biomateriálem v podobě 6 mm širokého „rukávu“ z UHMWPE (obr. 1) zakotveného do kostního podkladu biodegradabilními ACL/PCL šrouby (Hexalon™, Inion Ltd., Finland, n = 10). V místě odstupu ACL v kranio-mediální oblasti tibiálního platu byl vyvrtán kanál v průměru 5 mm (Acufex Endoscopic Cannulated Drill Bit 5,0 mm, Smith&Nephew, USA) medio-distálním směrem. Vyústění tunelu bylo směřováno do mediální části tibie. Do takto předvrtaného tunelu byl normográdně ze strany kolenního kloubu vsunut „rukáv“ UHMWPE a na konci zajištěn jednoduchým uzlem. Dovnitř úpletu „rukávu“ UHMWPE byl vložen biodegradabilní ACL/PCL šroub Hexalon 7 mm v délce 25 mm (Hexalon™, Inion Ltd., Finsko) a zajištěn normográdním zavedením do předvrtaného tunelu. Hloubka zavedení šroubu byla kontrolována na kloubní ploše tibiálního plátu tak, aby hrot šroubu končil přibližně 5 mm pod hranou vyústění kanálu do kolenního kloubu. Následně byl vyvrtán kanál o šířce 5 mm z místa úponu ACL na axiální hraně laterálního kondylu femuru v interkondylárním prostoru proximo-kaudo-laterálním směrem. Vyústění tunelu bylo směřováno na kaudo-laterální část laterálního kondylu femuru. Testovaná náhrada již ukotvená v kosti bérce byla nyní vyvedena z kloubního prostoru předvrtaným kanálem v kosti stehenní a model kolenního kloubu byl při zachování kontaktu kloubních ploch polohován do postojového úhlu 100° (20). Náhrada byla v napnutém stavu zajištěna zavedením druhého ACL/PCL šroubu Hexalon 7 mm v délce 25 mm ve směru retrográdním z kaudo-laterální části laterálního kondylu femuru směrem do kloubu kolenního. Šroub byl zaveden rovnoběžně s late-



Obr. 2. Experimentální model kolenního kloubu prasete při testování extrakapsulární náhrady předního zkříženého vazy monofilamentním nylonovým vláknem (Securos) fixovaným kostní kotvou umístěný v postojovém úhlu 100° ve speciálně vyrobeném fixačním zařízení.

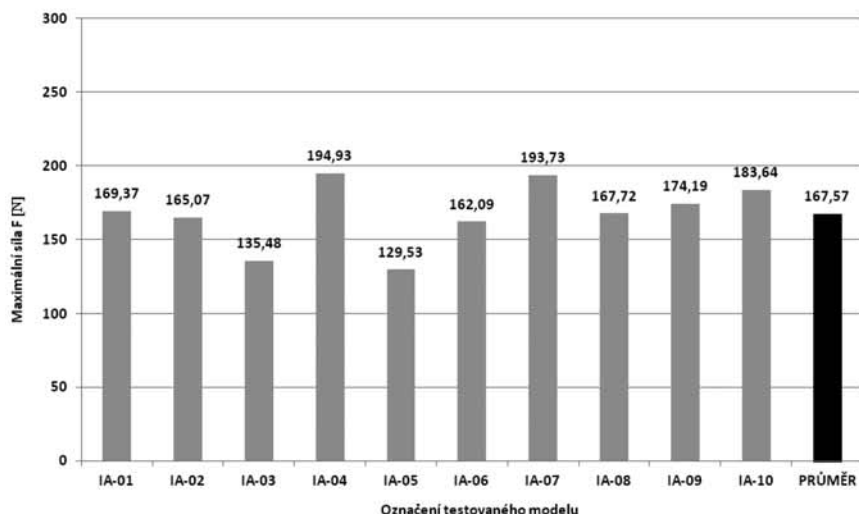
rálním povrchem kondylu femuru a poté byl ještě „rukáv“ UHMWPE na konci zajištěn jednoduchým uzlem.

Druhá skupina byla tvořena preparáty s iatrogeně simulovanou totální rupturou ACL (vytvořena kompletním přetnutím ACL skalpelovou čepelkou č. 11) a následnou stabilizací tradiční a ve veterinární medicíně klinicky užívanou metodou extraartikulární stabilizace (2) s využitím monofilního nylonového vlákna spojeného svorkou (crimp-clamp) a fixovaného kostní kotvou (Securos, USA, n = 11). Vláknem monofilního nylonu bylo do kostního podkladu tibie i femuru ukotveno v místech stanovených izometrických bodů pro extraartikulární stabilizaci (15). Na tibii byl nejdříve předvrtán transverzálně tunel 3,5 mm medio-laterálním směrem v místě úponu přímého patelárního vazy na tuberositas tibiae. Do kaudo-laterální oblasti laterálního kondylu femuru byla zavedena kostní kotva Securos (Securos, USA) o průměru 3,5 mm s kortikálním závitem. Následně byla provlečena smyčka monofilního vlákna nylonu (80 lb/36 kg) tunelem v tibii a přes kostní kotvu. Model kolenního kloubu byl při zachování kontaktu kloubních ploch polohován do postojového úhlu 100° (20), vláknem nylonu bylo dotaženo a spojeno „crimp-clamp“ svorkou. Svorka byla zajištěna zmáčknutím krimpovacími kleštěmi na třech předepsaných místech dle metodiky výrobce (Securos, USA).

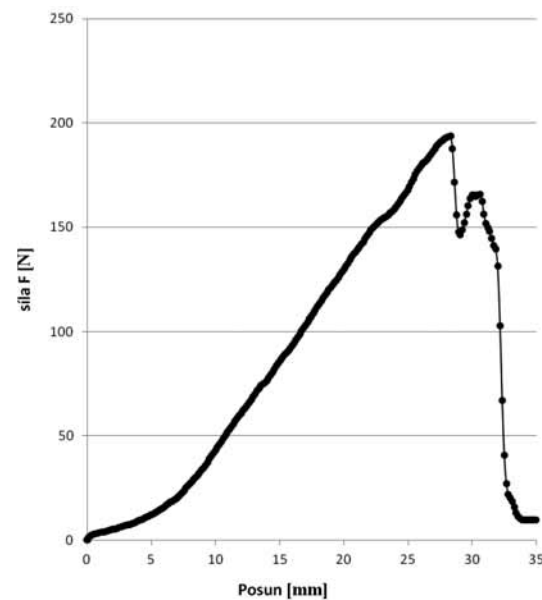
Modely byly pro testování upnuty ve speciálním nově vytvořeném úchytu (obr. 2 a 3). Femur a tibia byly v úchytu pevně fixovány pod úhlem 100° a na tibii bylo následně aplikováno zatížení reverzním přípravkem ve



Obr. 3. Selhání UHMWPE náhrady určené pro augmentaci parciální ruptury předního zkříženého vazy (ACL) při mechanickém testování modelu kolenního kloubu prasete.



Graf 1. Maximální síla F (N) nezbytná k selhání UHMWPE podpůrné náhrady předního zkříženého vazy u experimentálního modelu kolenního kloubu prasete.



Graf 2. Prezence průběhu mechanického zatížení v závislosti na velikosti deformace (posunu) experimentálního modelu kolenního kloubu prasete při testování UHMWPE podpůrné náhrady.

směru svislého posuvu. Síla byla vyvozena zatěžovacím lisem FP10 s měřicím rozsahem 0,4–10 kN. Pro potřeby zkoušek byl zvolen rozsah 4 kN a zkušební vzorky byly zatěžovány konstantním přírůstkem deformace. Svislý posun příčníků zatěžovacího lisu byl snímán indukčním snímačem dráhy HBM WA-T/50 mm s měřicím rozsahem 0–50 mm. Velikost působící síly a svislého posunutí byly kontinuálně s frekvencí ukládání záznamu 5 Hz (časový interval 0,2 s) zaznamenávány měřicí ústřednou HBM Spider8 (11). U všech testovaných skupin byla sledována hranice maximálního zatížení konstruktu (N) před jeho selháním a velikost deformace modelu při tomto zatížení (mm). Jako selhání fixace byl již označen stav, kdy v průběhu narůstající zátěže modelové konstrukce implantát-kost došlo při jeho testování náhle

k poklesu působící síly o více než 1 N. V této hladině „maximální“ dosažené síly zatěžování modelu byla také zaznamenána hodnota deformace/posunu.

Statistické zhodnocení získaných dat bylo provedeno základními metodami deskriptivní statistiky a neparametrickým Wilcoxonovým (Mannovým-Whitneyovým) testem pro nepárová data (Kypplot version 2.0 beta 15–32 bit).

VÝSLEDKY

U ex vivo modelů s iatrogeně simulovanou totální rupturou ACL a následnou stabilizací předozadního pohybu unikátním nově vyvinutým biomateriálem v podobě 6 mm širokého „rukávu“ z UHMWPE zakotveného do kostního podkladu biodegradabilními ACL/PCL šrouby Hexalon™ (skupina 1), jsme po dosažení maximální síly namáhání sledovali selhání implantátu u všech deseti testovaných modelů. UHMWPE „rukáv“ se přetrhl v blízkosti jeho fixace do stehenní kosti (obr. 3), ale konstrukce modelu v žádném z případů neselhala v místě ukotvení šroubů do kostního podkladu (nedošlo k uvolnění náhrady). Průměrná maximální dosažená síla nutná k selhání biomateriálu z UHMWPE byla $167,6 \pm 21,7$ N (minimální hodnota 129,5 N a maximální hodnota 194,9 N), (graf 1). Deformace modelu tj. vertikální posun femuru proti tibii v postojovém úhlu v případě modelu s UHMWPE náhradou ACL byla v průměru $19,0 \pm 4,0$ mm (minimální hodnota 13,1 mm, maximální hodnota 28,3 mm), (graf 2).

U experimentálních modelů s iatrogeně simulovanou totální rupturou ACL a extraartikulární stabilizací s využitím monofilního nylonového vlákna spojeného svorkou a fixovaného kostní kotvou Securos (skupina 2), došlo v devíti případech z jedenácti k selhání fixace konstruktury vytržením kostní kotvy z laterálního kondylu femuru a pouze ve dvou případech (model EC-9 a EC-11) k přetržení monofilního vlákna.

Průměrná maximální dosažená síla nutná k selhání extraartikulární fixace nylonovým vláknem Securos byla $207,3 \pm 49,2$ N (minimální hodnota 113,1 N a maximální hodnota 280,9 N), (graf 3). Deformace tohoto experimentálního modelu tj. vertikální posun femuru proti tibii v postojovém úhlu byla v průměru $24,1 \pm 9,5$ mm (minimální hodnota 7,4 mm, maximální hodnota 35,5 mm), (graf 4).

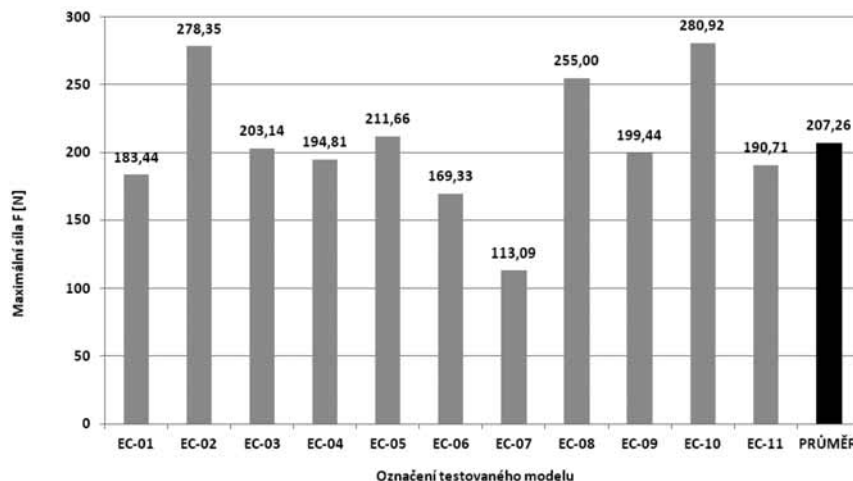
Vzájemným porovnáním experimentálních modelů kolenního kloubu s intraartikulární augmentací UHMWPE náhradou (skupina 1) a modelů s extraartikulární nylonovou náhradou (skupina 2) byl pozorován jen statisticky málo významný rozdíl v maximálním dosaženém zatížení ($p \leq 0,05$), ale nebyl pozorován statisticky významný rozdíl ve velikosti deformace/posunu vytvořeného konstruktu ($p > 0,05$).

DISKUSE

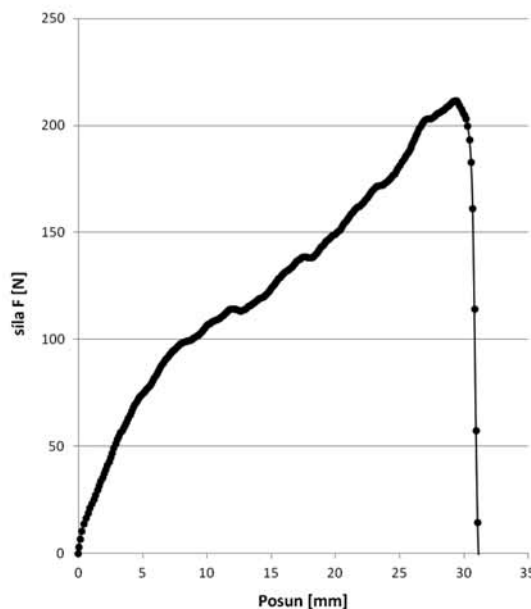
Pro potřeby ex vivo testování náhrad ACL jsme zvolili model vytvořený z kolenního kloubu prasete. Obdobně používají modely prasat i nejnovější biomechanické studie kolenních kloubů (9, 11). Tento experimentální model je vhodný k simulaci mechanického chování kolenního kloubu v definovaných parametrech u zvířat i lidí a tentýž model jsme s úspěchem ověřili v předchozí biomechanická ex vivo studii (11).

Cílem práce bylo vyvinout vhodný materiál pro podporu hojení partiální ruptury předního zkříženého vazy s vhodnými biologickými vlastnostmi pro osazení buňkami nebo sycení podpůrnými elementy hojení a zároveň s dostačující mechanickou pevností. Po implantaci takového materiálu může dojít k funkčnímu vhojení implantátu do zbývajících částí ACL, podpořit jeho revaskularizaci a předozadní stabilitu kolenního kloubu.

Naše předchozí práce (11) zjistila na animálním modelu kolenního kloubu pouze nevýznamný rozdíl v zachování mechanické pevnosti nepoškozeného ACL a ACL s partiální rupturou. Na základě tohoto zjištění byl při vývoji nového materiálu kladen požadavek na mechanickou pevnost fixace pouze do míry, jež poskytují známé a současně klinicky používané metody u „modelových“ zvířat (pes), (17, 29). Jako komparativní mechanická metoda byla zvolena extraartikulární fixace monofilním vláknem s využitím kostní kostvy Securos. V mechanickém testování našeho ex vivo modelu kolenního kloubu nedošlo k dramatickým změnám mechanické pevnosti konstrukce mezi těmito dvěma metodami. Modely fixované intraartikulární stabilizací náhradou UHMWPE a biodegradabilními šrouby Hexalon dosahovaly průměrné pevnosti 167,6 N (průměrný posun 19,0 mm)



Graf 3. Maximální síla F (N) nezbytná k selhání extrakapsulární náhrady předního zkříženého vazy monofilamentním nylonovým vláknem (Securos) fixovaným kostní kotvou u experimentálního modelu kolenního kloubu prasete.



Graf 4. Prezence průběhu mechanického zatížení v závislosti na velikosti deformace (posunu) experimentálního modelu kolenního kloubu prasete při testování extrakapsulární náhrady předního zkříženého vazy monofilamentním nylonovým vláknem (Securos) fixovaným kostní kotvou.

a modely fixované extraartikulárně monofilním vláknem a kostní kotvou Securos 207,3 N (průměrný posun 24,1 mm). Míra volnosti testovaných modelů daná velikostí maximálního posunu femuru a tibie v průběhu testu je u obou sledovaných skupin podobná a rozdíl není statisticky významný ($p > 0,05$), ovšem u skupiny intraartikulární fixace naznačuje menší směrodatná odchylka jednotlivých měření větší vyrovnanost souboru. Malá míra statistické významnosti ($p \leq 0,05$) byla sledována u maximální dosažené pevnosti konstrukce ve prospěch extraartikulární fixace, ale tuto menší hodnotu nepovažujeme pro naše účely za důležitou. Významnější je skutečnost, že hodnoty jednotlivých testů v míře pevnosti

i posunu jsou u modelu intraartikulární fixace více vyrovnané a lze je považovat za standardizované (graf 1). Typický průběh posunu v závislosti na zvyšování síly zátěže modelu intraartikulární UHMWPE náhrady ukazuje graf 3. Nově připravený biomateriál tak zcela splňuje naše požadavky na mechanickou podporu pro „zesílení“ parciální ruptury ACL.

Velmi dobré vlastnosti vykazoval nově syntetizovaný materiál pro intraartikulární podpůrnou stabilizaci v kvalitě visko-elastického spojení a ukotvení do kostního podkladu. V naší předcházející studii jiné intraartikulární náhrady jsme zaznamenali komplikace v ukotvení materiálu do kosti. Ve většině sledovaných případů došlo k uvolnění testovaného materiálu (splétané vlákno z polyetylentereftalátu potažené nanovláknem z polykaprolaktonu) z ukotvení do izometrického kostního tunelu v tibií Hexalon ACL/PCL šroubem. Fixace proto byla doplněna druhým šroubem Hexalon ACL/PCL v transverzálním tibiálním kanále (11). V případě modelu intraartikulární UHMWPE náhrady jsme změnili a zjednodušili proces ukotvení vlákna na jeden Hexalon ACL/PCL šroub v kosti stehenní a jeden v kosti bérce v místech izometrických bodů. Přesto nedošlo k uvolnění náhrady ani v jednom případě a selhání konstrukce bylo vždy následkem překročení mechanické pevnosti materiálu (UHMWPE) a jeho přetržení. Místo přetržení bylo lokalizováno přibližně v proximální čtvrtině délky náhrady v blízkosti ukotvení do stehenní kosti (obr. 3).

V případě srovnávací metody extraartikulární stabilizace kolenního kloubu monofilním vláknem jsme detekovali rizikové místo selhání fixace v místě zavedení kostní kotvy Securos do femuru, kdy v devíti případech z jedenácti došlo k uvolnění kostní kotvy. Tyto výsledky ukazují, že metodika zavedení šroubů a ukotvení UHMWPE náhrady v izometrických bodech je ideální a limit pro mechanickou pevnost určuje pouze materiálová vlastnost náhrady. Výsledky této studie tak významně rozšiřují informace o mechanickém testování intraartikulárních náhrad vhodných pro podporu parciální insuficience ACL získané v dřívějších studiích (11).

V paralelním projektu je spolu s dalšími biomateriály *in vitro* ověřován potenciál UHMWPE náhrady k podpoře růstu buněk, případné možnosti využití materiálových vlastností jako nosiče (buněk, buněčných elementů, bioaktivních substancí, syntetických látek, léků) a jsou sledovány znaky biokompatibility nových materiálů. UHMWPE nevykazuje cytotoxicitu a testy biokompatibility vycházejí slibně (Nečas a kol., nepublikovaná data). Tento materiál tak poskytuje potenciál k využití v kombinaci s kmenovými nebo diferenciovanými buňkami a/nebo růstovými faktory a posiluje tak pozitivní vliv na zhojení v případech parciální insuficience předního zkříženého vazů. Použití tohoto nového biomateriálu s biologickým potenciálem jako augmentace (mechanická podpora) parciálního poškození ACL je odlišným typem přístupu k terapii v porovnání s dnes populárními osteotomickými metodami u psů (8, 32).

ZÁVĚR

Ultra-high-molecular-weight polyetylen (UHMWPE) použitý v animálním modelu kolenního kloubu poskytuje vhodné materiálové vlastnosti k izometrické intraartikulární fixaci s využitím biodegradabilních ACL/PCL HexalonTM šroubů. Testovaná skupina vykazuje vyrovnané výsledky v průběhu zátěžového testu konstrukce implantát-kost bez selhání ukotvení náhrady v kostním podkladu. Hladiny maximální zátěže (N) a deformace modelu (posun v mm) jsou postačující pro nezbytné požadavky mechanické podpory. Materiál, jeho tvarová forma a metodika implantace je použitelná pro mechanickou podporu v případech parciální ruptury ACL. Biologické vlastnosti umožňují využít náhradu také jako nosiče buněk nebo bioaktivních látek a/nebo léků. Pracovní hypotéza byla potvrzena na *ex vivo* modelu kolenního kloubu prasete a je možné zvážit profit této náhrady v případě užití u lidí či zvířat s insuficiencí ACL.

Poděkování

Autoři děkují prof. RNDr. Josefu Jančářovi, CSc., (Ústav chemie materiálů, Fakulta chemická, Vysoké učení technické v Brně) za poskytnutí biomateriálu UHMWPE pro účely této studie.

Literatura

1. ARNOČEK, S. P., TARVIN, G. B., MARSHALL, J. L., SALTZMAN, B.: The over-the-top procedure. A technique for cranial cruciate ligament substitution in the dog. J. Am. Anim. Hosp. Assoc., 15: 283, 1979.
2. BALARA, J. M., MCCARTHY, R. J., BOUDRIEU, R., KRAUS, K. H.: Mechanical performance of a screw-type veterinary suture anchor subjected to single load to failure and cyclic loads. Vet. Surg., 33: 615–619, 2004.
3. BEALE, B. S., HULSE, D. A., SCHULZ, K. S., WHITNEY, W. O.: Small animal arthroscopy. Philadelphia, Saunders 2003.
4. BONOMO, J., FAY, C., FIRESTONE, T.: The conservative treatment of the ACL knee. Am. J. Sports Med., 18: 618–623, 1990.
5. BRUCE, W. J., ROSE, A., TUKE, J., ROBINS, G. M.: Evaluation of the Triple Tibial Osteotomy. A new technique for the management of the canine cruciate-deficient stifle. Vet. Comp. Orthop. Traumatol., 20: 159–168, 2007.
6. CICCOTTI, M. G., LOMBARDO, S. J., NONWEILER, B., PINK, W.: Non-operative treatment of ruptures of the anterior cruciate ligament in middle aged patients. J. Bone Jt Surg., 76-A: 1315–1321, 1994.
7. COOK, J. L., LUTHER, J. K., BEETEM, J., KARNES, J., COOK, C. R.: Clinical Comparison of a Novel Extracapsular Stabilization Procedure and Tibial Plateau Leveling Osteotomy for Treatment of Cranial Cruciate Ligament Deficiency in Dogs. Vet. Surg., 39: 315–323, 2010.
8. DUERR, F. M., MARTIN, K. W., RISHINIW, M., Palmer, R. H., Selmic, L. E.: Treatment of canine cranial cruciate ligament disease. A survey of ACVS Diplomates and primary care veterinarians. Vet. Comp. Orthop. Traumatol., 27: 478–483, 2014.
9. EHRENSBERGER, M., HOHMAN, D. W., DUNCAN, K., HOWARD, C., BISSON, L.: Biomechanical comparison of femoral fixation devices for anterior cruciate ligament reconstruction using a novel testing method. Clin. Biomech., 28: 193–198, 2013.

10. ETCHEPAREBORDE, S., BRUNEL, L., BOLLEN, G., BALLIGAND, M.: Preliminary experience of a modified Maquet technique for repair of cranial cruciate ligament rupture in dogs. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.*, 24: 223–227, 2011.
11. FEDOROVÁ, P., SRNEC, R., PĚNČÍK, J., SCHMID, P., AMLER, E., URBANOVÁ, L., NEČAS, A.: Mechanical testing of newly developed biomaterial designed for intra-articular reinforcement of partially ruptured cranial cruciate ligament: ex vivo pig model. *Acta Vet. Brno*, 83: 55–60, 2014.
12. FERRARI, J. D., BUSH-JOSEPH, C. A., BACH, B. R., Jr.: Double incision arthroscopically assisted ACL reconstruction using patellar tendon substitution. *Tech. Orthop.*, 13: 242–252, 314–317, 1998.
13. HARDIN, G. T., BACH, B. R., Jr., BUSH-JOSEPH, C., FARR, J.: Endoscopic single incision ACL reconstruction using patellar tendon autograft: Surgical technique. *Am. J. Knee Surg.*, 5: 144–155, 1992.
14. HULSE, D. A., BEALE, B. S.: Arthroscopically assisted „under and over“ reconstruction of the cranial cruciate ligament in the dog. *Proceedings of the 27th Annual Conference of the Veterinary Orthopedic Society*, Val d Isere, France 2000.
15. HULSE, D., HYMAN, W., BEALE, B., SAUNDERS, B., PEYCKE, I., HOSGOOD, G.: Determination of isometric points for placement of a suture in treatment of the cranial cruciate ligament deficient stifle. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.*, 23: 163–167, 2010.
16. HULSE, D., BEALE, B., KOWALESKI, M.: CORA based leveling osteotomy for treatment of the CCL deficient stifle. In: *Proceedings of the World Orthopaedic Veterinary Congress*, Bologna, Italy 2010, 120–121.
17. CHOATE, C. J., POZZI, A., LEWIS, D. D., HUDSON, C. C., CONRAD, B. P.: Mechanical properties of isolated loops of nylon leader material, polyethylene cord, and polyethylene tape and mechanical properties of those materials secured to cadaveric canine femurs via lateral femoral fabellae, toggles placed through bone tunnels, or bone anchors. *Am. J. Vet. Res.*, 73: 1519–1529, 2012.
18. MARZO, J. M., WARREN, R. F.: Results of treatment of anterior cruciate ligament injury: Changing perspectives. *Adv. Orthop. Surg.*, 15: 59–69, 1991.
19. MILLER, M. D., COLE, B. J.: *Textbook of arthroscopy*. Philadelphia, Saunders, An imprint of Elsevier 2004.
20. MILLER, H. W., BORING G.: X-Ray analysis of structural soundness in swine. *National Swine Improvement Federation. Proceedings of the annual conference* 1978, 35.
21. MILLER, C. W., PRESNELL, K. R.: Examination of the canine stifle: arthroscopy versus arthrotomy. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.*, 21: 625–629, 1985.
22. MONTAVON, P. M., DAMUR, D. M., TEPIC, S.: Advancement of the tibial tuberosity for the treatment of cranial cruciate deficient canine stifle. *Proceedings of the 1st World Veterinary Orthopaedic Congress*, Munich, Germany 2002, 152.
23. NEČAS, A., PLÁNKA, L., SRNEC, R., RAUŠER, P., URBANOVÁ, L., LORENZOVÁ, J., CRHA, M., JANČÁŘ, J., GÁL, P.: Biomaterials and stem cells in the treatment of articular cartilage, meniscal, physeal, bone, ligamentous and tendinous defects. *Acta Vet. Brno*, 77: 277–284, 2008.
24. NEČAS, A.: Surgical treatment of cranial cruciate ligament rupture. In: *Proceedings of Annual Purdue Veterinary Medicine 2011 Fall Conference*, West Lafayette, Indiana, USA: Purdue University School of Veterinary Medicine, 2011, 167–176.
25. NEČAS, A.: Methods of surgical management of ACL deficient knee/TTA. In: *Proceedings of World Veterinary Congress 2013*, Prague, Czech Republic, 17–20 September 2013, 52–55.
26. NEČAS, A.: Recent trends in ACL injury management. In: *Proceedings of 13th Congress of the European Veterinary Emergency and Critical Care Society (EVECCS)*, Prague, Czech Republic, 12–15 June 2014.
27. POZZI, A., HILDRETH, B. E., RAJALA-SCHULTZ, P. J.: Comparison of arthroscopy and arthrotomy for diagnosis of medial meniscal pathology: An *ex vivo* study. *Vet. Surg.*, 37: 749–755, 2008.
28. RASKE, M., HULSE, D., BEALE, B., SAUNDERS, W. B., KISHI, E., KUNZE, C. H.: Stabilization of the CORA based leveling osteotomy for treatment of cranial cruciate ligament injury using a bone plate augmented with a headless compression screw. *Vet. Surg.*, 42: 759–764, 2013.
29. ROE, S. C., KUE, J., GEMMA, J.: Isometry of potential suture attachment sites for the cranial cruciate ligament deficient canine stifle. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.* 21: 215–220, 2008.
30. SLOCUM, B., DEVINE, T. D.: Cranial tibial wedge osteotomy: A technique for eliminating cranial tibial thrust in cranial cruciate ligament repair. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 184: 564–569, 1984.
31. SLOCUM, B., SLOCUM, T. D.: Tibial plateau leveling osteotomy for repair of cranial cruciate ligament rupture in the canine. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.*, 23: 777–795, 1993.
32. SKYTTE, D., SCHMOKEL, H., MILES, J.: Partial rupture of the cranial cruciate ligament treated with tibial tuberosity advancement without debridement of the remaining ligament: A clinical study of 18 cases. *Schweiz. Arch. Tierh.*, 156: 447–449, 2014.
33. TONKS, C. A., LEWIS, D. D., POZZI, A.: A review of extra-articular prosthetic stabilization of the cranial cruciate ligament-deficient stifle. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.*, 24: 167–177, 2011.
34. VASSEUR, P. B.: Stifle joint. In: *Slatter, D.: Textbook of small animal surgery*. 2nd ed. Philadelphia; W. B. Saunders 1993, 1817–1865.
35. WHITNEY, W. O.: Arthroscopic reconstruction of the cranial cruciate ligament in the dog. *Proceedings of the Eight Annual ACVS Symposium*, Chicago 1998.

Korespondující autor:

MVDr. Petra Fedorová

Oddělení chirurgie a ortopedie, Klinika chorob psů a koček

Fakulta veterinárního lékařství

Veterinární a farmaceutická univerzita Brno

Palackého tř. 1/3

612 42 Brno

E-mail: fedorovap@vfu.cz