

# Současné možnosti a význam zobrazování hyalinní chrupavky kolenního kloubu před operačním zákrokem – rozdílný pohled ortopeda a radiologa

## Current Options and Importance of Imaging of the Hyaline Articular Cartilage of the Knee Prior to the Surgery – a Different Perspective of an Orthopaedic Surgeon and a Radiologist

A. ŠPRLÁKOVÁ-PUKOVÁ<sup>1</sup>, P. VALIŠ<sup>2</sup>, M. REPKO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Klinika radiologie a nukleární medicíny Fakultní nemocnice Brno a Lékařské fakulty Masarykovy univerzity, Brno

<sup>2</sup> Ortopedická klinika Fakultní nemocnice Brno a Lékařské fakulty Masarykovy univerzity, Brno

### SUMMARY

The authors present an overview of the commonly used techniques and new trends of the cartilage imaging, especially postoperatively, and also discuss the potential of MRI imaging of the cartilage from the perspective of an experienced orthopaedic surgeon. In conclusion, the authors propose possible explanations for the potential discrepancies between the MRI and the arthroscopic findings.

Hyaline cartilage damage and subsequent reparation of this tissue is one of the topical issues of orthopaedics and traumatology. Due to the expanding possibilities of treatment of this tissue and a relatively good effect of the surgery, the number of patients indicated for magnetic resonance imaging prior to the surgery has been on an increase. To make a decision concerning the subsequent type of treatment, it is necessary to get an idea of the cartilage cover condition, articular surfaces and also of the associated pathologies. The degree of cartilage damage can be assessed by arthroscopy or magnetic resonance imaging, which provides also the possibility of the subchondral lesion detection. Thanks to the non-invasive nature of the MRI examination, it has become the most important method in full imaging of the articular cartilage. The MRI of the cartilage has many options and at present the evaluation of the hyaline cartilage should be an integral part of each MRI examination of joints. For a more accurate assessment of the cartilage there are several advanced techniques available that can be used not only for preoperative diagnostics, but also for monitoring after the surgery.

**Key words:** hyaline cartilage, magnetic resonance, arthroscopy.

Podpořeno MZ ČR – RVO (FNBr, 16-30833A).

### ÚVOD

Hyalinní chrupavka se skládá z chondrocytů a mezi-buněčné hmoty tvořené proteoglykany a kolagenními vlákny II. typu. Typickou vlastností je tlaková elasticita, při tlaku sice dochází k mírné změně tvaru, chrupavka má však schopnost se po jeho odeznění navracet do původního tvaru. Funkce chrupavky závisí na kvantitativním a kvalitativním poměru proteoglykanů a jejich glykosaminoglykanových (GAG) řetězců a uspořádání kolagenních fibril. Chrupavka je bezcévná, k její výživě dochází difúzí mezibuněčnou hmotou. Kloubní chrupavka kryje kloubní plochu kosti a působí jako tlumič nárazů a zajišťuje rovnoměrné rozložení nárazů do plochy (8). Chrupavka může být poškozena jednak degenerativním procesem a rovněž i v rámci traumatických změn. Degenerativní změny chrupavky se vyznačují poškozením kolagenních vláken a ztrátou GAG řetězců, dochází ke změně poměru jednotlivých částic se zvýšením obsahu vody. Poškození chrupavky může být fokální nebo difúzní.

### Indikace k MR vyšetření a význam zobrazení chrupavky pro následné ošetření – pohled ortopeda

Z pohledu ortopedické praxe je samotné vyšetření kloubní chrupavky jako primární indikace k MR vyšetření, v porovnání s vyšetřením menisků a vazů, prozatím málo využíváno. Jednoznačnou indikací je nález osteochondrální léze viditelné na rtg snímku. Vzbudit podezření na možné poškození kloubní chrupavky a její došetření pomocí MR by měly bolesti a otoky kolene při negativním klinickém vyšetření menisků a vazů. Avšak při běžném vyšetření je popis ohraničeného chondrálního defektu při MR vyšetření často náhodný. Častěji se setkáváme s popisem snížení výšky chrupavky nebo chondropatií kondylu femuru, tibie nebo celého kompartmentu.

Přínos MR vyšetření kloubní chrupavky pro klinickou praxi spočívá především v určení velikosti a hloubky chondrálního defektu. Důležitým faktorem je i stav chrupavky v okolí defektu a v celém kloubu. Na základě těchto poznatků, s přihlédnutím k věku pacienta a přidruženým nitrokloubním patologiím, plánujeme metodu

ošetření chrupavky. Podle velikosti defektu, okolních změn a dalších vstupních proměnných se plánuje způsob ošetření, na naší klinice vybíráme mezi provedením debridement, abrazní metodou, přenosem osteochondrálních štěpů, implantací solidního chondrograftu ev. scaffoldu.

Skutečný stav kloubní chrupavky při artroskopii však velmi často plně nekoreluje s popisem běžného MR vyšetření, které není na zobrazení chrupavky zaměřené, a to především ve vztahu hloubky defektu a výšky okolní chrupavky. S touto diskrepancí se setkáváme hlavně u pacientů nad 40 let s již nastartovaným artrotickým procesem nebo chondropatií II. a vyššího stupně dle Outerbridgeho klasifikace. Při výrazném rozměknutí a hlubokých ragádách může nastat i situace, kdy není tento stav chrupavky na běžném MR vyšetření zachycen.

### Zobrazení chrupavky na magnetické rezonanci

Morfologické zobrazení chrupavky je možné pomocí běžných spin-echo (SE) sekvencí, gradientních sekvencí (GRE) a zejména při využití 3D technik (SE, GRE) zobrazení (3). Pro získání kompletních informací a zobrazení změn kvalitativních lze využít pokročilé MR techniky zobrazení – T2 mapování, dGEMRIC sekvence, T1rho, MR zobrazení sodíku a difuzně vážené MR zobrazení.

#### Morfologické zobrazení chrupavky

Běžné vyšetření kolenního kloubu na magnetické rezonanci zahrnuje sadu různých typů zobrazení – sekvencí, zhotovených v různých anatomických rovinách. Cílem každého vyšetření je zobrazit kolenní kloub jako celek a zachytit tak případnou patologii. Protokol, způsob vyšetření, se může různit jednak na základě požadavků uvedených na žádance a rovněž v průběhu vyšetření při odhalení patologie, která vyžaduje změnu standardního protokolu vyšetření. Každý protokol vyšetření však zahrnuje především 2D spin-echo sekvence, tedy zobrazení v T1 vážených obrazech, proton denzitních zobrazení a T2 vážených obrazech, časté je využití potlačení signálu tukové tkáně zejména u sekvencí proton denzitních a T2 vážených.

Sekvence rychlého spinového echa (2D FSE) jsou vhodné pro zobrazení integrity – celistvosti chrupavky (10). V tomto případě je velkou výhodou právě použití technik potlačení signálu tuku a obrazy proton denzitní či T2 vážené. T1 sekvence má pro využití takového hodnocení limity vzhledem k poměrně malému kon-

trastu mezi povrchem chrupavky a nitrokloubní tekutiny. PD a T2 sekvence jsou pak vhodné i pro hodnocení jiných struktur kloubu, jako např. menisků či vazů. Hodnocení chrupavky má však při použití těchto sekvencí i nevýhody, slabinou tohoto zobrazení je anizotropní voxel, vzdálenost mezi jednotlivými obrazy (sectional gap) a rovněž partial volume effect. Chybí tedy detailní zobrazení, které může vést k nesprávnému zhodnocení hyalinní chrupavky.

Pro zobrazení chrupavky je tak vhodné použít jednak 3D FSE sekvence s izotropním vxelem, což umožňuje provést rekonstrukce v různých rovinách, dále se v současnosti využívají i 3D GRE techniky zobrazení chrupavky. Tyto techniky jsou vhodné pro přesné morfologické zobrazení chrupavky pro svou tenkou šířku vrstvy, absenci mezer mezi jednotlivými vrstvami a variabilním kontrastem. Využít lze řadu sekvencí – např. SPGR, DEFT, DESS, bSSFP, SPACE, VISTA (3). Náběr dat u těchto sekvencí umožní volumetrické měření (např. SPGR), nevýhodou je však dlouhý vyšetřovací čas

Tab. 1. Morfologické zobrazování chrupavky 2D a 3D sekvence

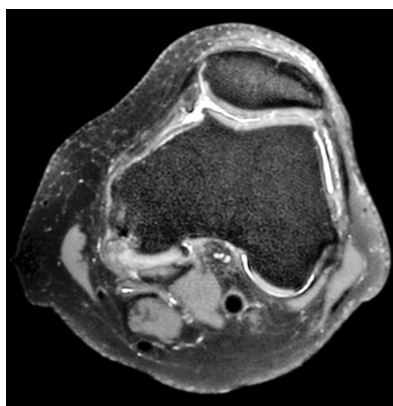
| MR zobrazení             | Výhody                                                                                                                | Nevýhody                                                                                           | Poznámky                                              |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 2D fastSE sekvence       | PD a T2 sekvence mají výborný kontrast mezi tekutinou a chrupavkou. Lze hodnotit i ostatní struktury, nejen chrupavku | anizotropní zobrazení, mezer mezi jednotlivými obrazy, partial volume effect                       | nejvýhodnější současné potlačení signálu tukové tkáně |
| 3D sekvence (FSE či GRE) | volumetrické měření, izotropní voxel                                                                                  | dlouhý vyšetřovací čas, náchylnost k susceptibilním artefaktům; omezené hodnocení dalších struktur |                                                       |

Tab. 2. Pokročilé techniky zobrazování chrupavky

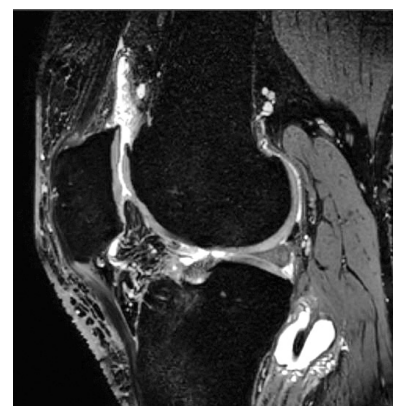
| Typ sekvence     | Zobrazení založeno na detekci | Výhody                                                       | Nevýhoda                                                                  | Poznámky                                                    |
|------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| T2 mapování      | obsah vody                    | metoda ověřená, často používaná ve studiích                  | efekt magického úhlu ovlivňující hodnocení, nutnost postprocesingu        | nejčastěji využívaná metoda, nejčastěji dostupná            |
| dGEMRIC          | glykosaminoglykany            | Nepřímý vztah k obsahu GAG, lze ji považovat za specifitější | časová náročnost, nutnost postprocesingu, aplikace k.l.i.v.               | vyžaduje software na zpracování dat                         |
| T1rho            | kolagenní síť                 | senzitivní k časné degeneraci                                | omezená dostupnost této metody, není jasná specifita změn                 | běžně není výrobci nabízena                                 |
| zobrazení sodíku | glykosaminoglykany            | přímý vztah k obsahu GAG, nevyžaduje k.l.                    | omezená dostupnost této metody                                            | běžně není nabízena, vyžaduje speciální vybavení pracoviště |
| difuzní vážení   | kolagenní síť                 | zobrazuje podíl kolagenu – architektury chrupavky            | není plně kvantitativní                                                   | není zatím využívána                                        |
| gagCEST          | glykosaminoglykany            | nevyžaduje k.l., poměrně rychlý náběr dat                    | omezená dostupnost této metody, citlivost na nehomogenity statického pole | není zatím běžně využívána                                  |



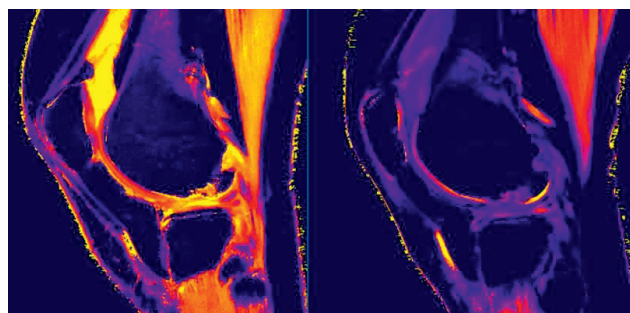
Obr. 1. 3D VISTA SPAIR sagitálně, šipka ukazuje na jedno z míst fokálního poškození chrupavky s alterací signálu.



Obr. 2. Stejný pacient, transverzální rekonstrukce 3D VISTA SPAIR, patologické změny chrupavky na kloubní ploše patelly a v oblasti femorálního sulku.



Obr. 3. bFFE sagitálně, zobrazení s výborným kontrastem mezi chrupavkou a synoviální tekutinou umožňující detekci změn chrupavky.



Obr. 4. dGEMRIC, vlevo před aplikací k.l., vpravo po aplikaci gadoliniové kontrastní látky.

(DEFT, SPGR) a dále může být omezené hodnocení ostatních struktur kolenního kloubu, jako jsou menisky či vazy (12, 14). Rovněž je u některých těchto sekvencí horší kontrast mezi chrupavkou a okolní tekutinou a dále je vyšší náchylnost k susceptibilním artefaktům. Tato vlastnost pak významně ovlivňuje zobrazení chrupavky, zejména po některých operačních výkonech. Nemusí být přímo implantována kovová fixace, mnohdy je hodnocení omezeno i množstvím drobných artefaktů díky otěru kovu, zejména po opakujících se artroskopických. Rozhodně však 3D techniky zobrazení patří do standardního protokolu vyšetření i v případě, že indikací k vyšetření je podezření na poškození jiné tkáně než hyalinní chrupavky.

Každá z uvedených možností morfologického zobrazení chrupavky má svoje výhody a rovněž svoje slabší stránky, výhody a nevýhody jednotlivých sekvencí shrnuje tabulka 1. Zejména pokud přihlídneme k tomu, že hodnocení vyšetřovaného kloubu musí být vždy komplexní, tedy se zhodnocením všech struktur, nejen chrupavky hyalinní.

Chrupavku lze na magnetické rezonanci zobrazit jednak běžně používanými sekvencemi, kde lze zhodnotit její kontinuitu, změny subchondrální, případně defekt chrupavky. Pro hodnocení změn chrupavky lze použít řadu klasifikací. Z praktického pohledu je vhodné vždy před použitím některé z klasifikací na MR oslovit

ortopeda či traumatologa a sjednotit hodnocení tak, aby i bez obrazové dokumentace měl indikující lékař dostatek informací ke zvolení správného postupu léčby. Jednou z klasifikací je modifikované Outerbridge hodnocení – rozdělení do 4 stupňů postižení (1, 11).

Stupeň 0 – normální chrupavka.

Stupeň 1 – okrsky alterace signálu, normální kontury chrupavky.

Stupeň 2 – částečný defekt chrupavky.

Stupeň 3 – defekt zasahující až k subchondrální kosti.

Stupeň 4 – rozsáhlý defekt – poškození chrupavky a subchondrální změny.

#### **Pokročilé zobrazení chrupavky**

Uvedené morfologické sekvence lze provést při každém běžném vyšetření na magnetické rezonanci. Pro běžné zhodnocení chrupavky je toto zhodnocení zcela dostačující. Jiná situace nastává, pokud bychom chtěli přesně zhodnotit nejen kvantitu, ale i kvalitu tkáně, která kryje kloubní plochy.

Pro takového hodnocení se hodí právě techniky pokročilého zobrazování chrupavky, které odráží změny ve složení chrupavky – změny kolagení sítě, poměru proteoglykanů a glykosaminoglykanových řetězců, odráží změny podílu jednotlivých komponent (makromolekul) v chrupavce (3, 7, 9). Přehled těchto technik krátce shrnuje tabulka 2.

**T2 mapování** – 2D technika s dlouhým náběrovým časem měření. Odráží změny mezi podílem vody a makromolekulami (kolagen) v hyalinní chrupavce, dochází ke změně T2 zobrazení. T2 mapování poskytuje kvantitativní zobrazení změn chrupavky v barevné či šedé škále (5, 6).

**dGEMRIC** – delayed gadolinium-enhanced MRI of cartilage je metoda vhodná k neinvazivní detekci glykosaminoglykanového obsahu v chrupavce. Podstatou této metody je zjištění, že ionty v intersticiální tekutině v chrupavce jsou distribuovány ve vztahu k negativně nabitým glykosaminoglykanovým molekulám. Molekuly kontrastní látky (GDDTPA 2-) difundují do chrupavky a koncentrují se v místech, kde je koncentrace GAG

nízká. Zobrazení touto sekvencí tak koreluje s obsahem GAG řetězců. Nevýhodou této metody je nutnost intravenózní aplikace kontrastní látky (Gd-DTPA 2-) a dále opožděný náběr dat od vlastní aplikace, tedy dlouhý čas měření (13).

**T1rho** – je vhodné k zobrazení kolagenní sítě makromolekulární struktury kolagenní matrix, do jisté míry je tato sekvence podobná T2 relaxaci, při náběru dat se však využívá přídatného radiofrekvenčního pulsu. Tato sekvence však není běžně dostupná na MR pracovištích a její použití je tak možné pouze v některých výzkumných centrech (4).

**MR zobrazení sodíku** – principem je závislost distribuce sodíkových iontů a makromolekul glykosaminoglykanů. Tento způsob je tedy podobný dGEMRIC zobrazení bez nutnosti aplikace kontrastní látky. Při použití tohoto typu zobrazení lze detekovat i počínající degenerativní změny chrupavky. Použití je však opět možné pouze v některých centrech, dostupnost je tak velmi omezená. K tomuto zobrazení je nutné speciální technické vybavení, speciální cívka (15).

**Difuze vážené zobrazení** je založeno na zobrazení pohybu molekul vody, které je ovlivněno intra- i extracelulárními procesy. Difuze vody v chrupavce odráží změny jak biochemického složení, tak i změn struktury – architektury chrupavky. Vlastní měření není nijak dlouhé, v praxi se velmi často používá společně s 3D technikami zobrazení. Nevýhodou pro využití při klinických studiích je nemožnost přesného kvantitativního zhodnocení.

**gagCEST** – glycosaminoglycan chemical exchange saturation transfer, je nová technika MR zobrazení, umožňující detekci jednotlivých součástí tkáně (chrupavky), jejichž koncentrace je tak nízká, že při běžném zobrazení neovlivní MR kontrast, je to tedy sekvence schopná detekovat biochemické komponenty v chrupavce kolenního kloubu. Její použití je však limitované, experimentálně se využívá zejména na přístrojích o síle 7T.

## ZÁVĚR

Morfologické zobrazení a zhodnocení chrupavky by mělo být vždy součástí kvalitního MR vyšetření. Vzhledem k tomu, že informace o stavu chrupavky v mnoha případech rozhodují o typu ošetření pacienta, je nutné do standardního protokolu zařadit mezi běžně užívané 2D techniky minimálně jednu 3D sekvenci a provést zhodnocení korelující s pohledem ortopeda. Důvodem neko-relujícího nálezu může být jednak absence těchto sekvencí a rovněž malá spolupráce s indikujícím lékařem. Důležité je tedy nejen samotné MR vyšetření, ale i zpětná vazba po následném ošetření. Uvedené pokročilé techniky zobrazení, které by mohly vést ke zkvalitnění popisu, se využívají zejména v rámci vědeckých projektů a studií. Do běžného protokolu vyšetření se nezařazují a na řadě pracovišť je nelze ani provést. Jejich použití by mohlo odstranit rozpor mezi běžným MR vyšetřením a následným artroskopickým nálezem, nicméně jejich provedení je komplikované a limitované buď technickými možnostmi, nebo časovou náročností.

## Literatura

1. Cameron ML, Briggs KK, Steadman JR. Reproducibility and reliability of the outerbridge classification for grading chondral lesions of the knee arthroscopically. *Am J Sports Med.* 2003;31:83–86.
2. Crema MD, Roemer FW, Marra MD, Burstein D, Gold GE, Eckstein F, Baum T, Mosher TJ, Carrino JA, Guermazi A. Articular cartilage in the knee: current MR imaging techniques and applications in clinical practice and research. *Radiographics.* 2011;31:37–62.
3. Gold GE, Chen CA, Koo S, Hargreaves BA, Bangerter NK. Recent advances in MRI of articular cartilage. *AJR Am J Roentgenol.* 2009;193:628–638.
4. Guermazi A, Alizai H, Crema MD, Trattnig S, Regatte RR, Roemer FW. Compositional MRI techniques for evaluation of cartilage degeneration in osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2015;10:1639–1653.
5. Hesper T, Hosalkar HS, Bittersohl D, Welsch GH, Krauspe R, Zilkens C, Bittersohl B. T2\* mapping for articular cartilage assessment: principles, current applications, and future prospects. *Skeletal Radiol.* 2014;43:1429–1445.
6. Chen Q, Zu Qo, Hu Q, Feng Y, Cui W, Fan W, Zou Y. Morphological MRI and T2 mapping of cartilage repair tissue after mosaicoplasty with tissue-engineered cartilage in a pig model. *J Biomed Res.* 2014;28:309–319.
7. Jungmann PM, Baum T, Bauer JS, Karampinos DC, Erdle B, Link TM, Li X, Trattnig S, Rummeny EJ, Woertler K, Welsch GH. Cartilage repair surgery: outcome evaluation by using noninvasive cartilage biomarkers based on quantitative MRI techniques?. *Biomed Res Int.* 2014;2014:840170.
8. Lüllmann-Rauch R. Histologie. Grada, Praha, 2012, pp 122–125.
9. Paunipagar BK, Rasalkar DD. Imaging of articular cartilage. *Indian J Radiol Imaging.* 2014;24: 237–248.
10. Podškubka A, Povýšil C, Kubeš R, Šprindrich J, Sedláček R. Ošetření hlubokých defektů chrupavky kolena transplantací autologních chondrocytů fixovaných na nosiči z esteru kyseliny hyaluronové (Hyalograft C). *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2006;73:251–263.
11. Reed ME, Villacis DC, Hatch GF 3<sup>rd</sup>, Burke WS, Colletti PM, Narvy SJ, Mirzayan R, Vangsness CT Jr. 3.0-Tesla MRI and arthroscopy for assessment of knee articular cartilage lesions. *Orthopedics.* 2013;36:e1060–1064.
12. Štouračová A, Mechl M, Šprláková-Puková A, Schwarz D, Burda J. Možnosti zobrazení artiklárni chrupavky včetně volumetrických měření. *Ces Radiol.* 2011;65:61–69.
13. Tiel J, Bron EE, Tielius CJ, Bos PK, Reijman M, Klein S, Verhaar JAN, Krestin GP, Weinans H, Kotek G, Oei EHG. Reproducibility of 3D delayed gadolinium enhanced MRI of cartilage (dGEMRIC) of the knee at 3.0 T in patients with early stage osteoarthritis. *Eur Radiol.* 2013;23:496–504.
14. Wada Y, Watanabe A, Yamashita T, Isobe T, Hideshige M. Evaluation of articular cartilage with 3D SPGR MRI after autologous chondrocyte implantation. *J Orthop Sci.* 2003;8:514–517.
15. Zbýň Š, Mlynárik V, Juras V, Szomolanyi P, Trattnig S. Evaluation of cartilage repair and osteoarthritis with sodium MRI. *NMR Biomed.* 2016;29:206–215.

## Korespondující autor:

Doc. MUDr. Martin Repko, Ph.D.  
Ortopedická klinika FN Brno a LF MU  
Jihlavská 20  
625 00 Brno  
E-mail: Repko.Martin@fnbrno.cz