

Jihočeská univerzita  
Jírovцова 24/1347, 370 04 České Budějovice  
Zdravotně sociální fakulta

**Spolehlivost vyšetření SPECT při diagnostice poranění menisků  
kolenního kloubu**

Bakalářská práce

Autor: Helena Vytopilová  
Vedoucí práce: prim. prof. MUDr. Radek Hart, Ph.D.  
Datum odevzdání práce: 9. 5. 2008

## Abstract

### **Diagnostics reliability of the SPECT method and knee joint meniscus injuries**

Menisci are located within the knee joint and therefore it is very difficult to diagnose the knee joint meniscus injuries. There are several examination methods, such as RTG, SONO and MRI to diagnose knee joint meniscus injuries. Attention is given to these examination techniques in a section of my thesis.

The substantial part of my thesis is focused on the nuclear medicine – the ionizing radiation detection, imaging methods – but mainly on the non-invasive examination – bone scintigraphy and SPECT imaging. The SPECT method is a tomographic version of a common method of planar scintigraphy. The SPECT examination follows the three-phase scintigraphy which is a combination of a static and dynamic scintigraphy.

Another part of my thesis refers to the largely used invasive method, arthroscopy. Arthroscopy is an endoscopic technique enabling visual diagnostics from minimal distance and surgical procedures.

The closing part of my thesis brings the comparison of results obtained in patients examined both by the SPECT method and by arthroscopy.

The objective of my thesis is to publish the role of the SPECT method in knee joint meniscus injury diagnostics.

## **Abstrakt**

Spolehlivost vyšetření SPECT při diagnostice poranění menisků kolenního kloubu

Vzhledem k uložení menisků uvnitř kolenního kloubu je obtížné diagnostikovat poranění. Vyšetření lze provádět mnoha způsoby RTG, SONO a MRI. Část práce se zabývá těmito způsoby vyšetření.

Největší část bakalářské práce je zaměřena na nukleární medicínu – detekce ionizujícího záření, zobrazovací metody, ale především neinvazivnímu vyšetření – kostní scintigrafie s použitím zobrazení SPECT. SPECT je tomografickou variantou běžné planární scintigrafie. SPECT vyšetření kolenních kloubů následuje po třífázové scintigrafii, která je kombinací dynamické a statické scintigrafie.

Další část je věnována invazivní široce užívané metodě, artroskopii. Artroskopie je endoskopická metoda umožňující z minimálního přístupu vizuální diagnostiku a operační řešení.

V závěru práce je hodnocen soubor pacientů vyšetřených metodou SPECT a posléze artroskopicky. Výsledky obou metod jsou porovnány.

Cílem mé práce je publikovat stav metody SPECT u vyšetření menisků kolenních kloubů.

## **Poděkování**

Děkuji, panu primáři prof. MUDr. R. Hartovi, Ph.D., vedoucímu mé práce, za odborné rady a připomínky, které mi během zpracování bakalářské práce poskytl.

Dále bych chtěla poděkovat za odbornou pomoc panu primáři MUDr. M. Konvičkovi.

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Spolehlivost vyšetření SPECT při diagnostice poranění menisků kolenního kloubu, jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích 9. 5. 2008

.....

Podpis

## Obsah

|                                                       |           |
|-------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Úvod.....</b>                                   | <b>8</b>  |
| <b>2. Současný stav.....</b>                          | <b>9</b>  |
| <b>3. Cíl práce .....</b>                             | <b>10</b> |
| <b>4. Hypotéza.....</b>                               | <b>10</b> |
| <b>5. Anatomie kolenního kloubu.....</b>              | <b>11</b> |
| 5.1. Svaly ovládající kolenní kloub.....              | 13        |
| <b>6. Detekce ionizujícího záření.....</b>            | <b>15</b> |
| 6.1. Interakce ionizujícího záření s hmotou.....      | 15        |
| 6.2. Obecné schéma detekčního přístroje.....          | 16        |
| 6.2.1. Stínící materiál.....                          | 17        |
| 6.2.1.1. Druhy kolimátorů.....                        | 17        |
| 6.2.2. Detektory ionizujícího záření.....             | 19        |
| 6.2.3. Elektronická vyhodnocovací aparatura.....      | 21        |
| 6.2.4. Záznam výsledků.....                           | 22        |
| <b>7. Zobrazovací metody nukleární medicíny.....</b>  | <b>23</b> |
| 7.1. Statická scintigrafie.....                       | 23        |
| 7.2. Dynamická scintigrafie.....                      | 24        |
| <b>8. Tomografická scintigrafie.....</b>              | <b>24</b> |
| 8.1. Tomografická scintigrafie SPECT.....             | 25        |
| 8.1.1. Nepříznivé vlivy u SPECT a jejich korekce..... | 27        |
| <b>9. Scintigrafická vyšetření.....</b>               | <b>28</b> |
| 9.1. Scintigrafie skeletu.....                        | 29        |
| 9.2. Patofyziologické poznámky.....                   | 30        |
| 9.3. Princip metody.....                              | 31        |
| 9.4. Radiofarmaka.....                                | 31        |
| 9.5. Provedení.....                                   | 32        |
| 9.6. Interpretace scintigramu.....                    | 32        |
| <b>10. SPECT kolenních kloubů.....</b>                | <b>33</b> |

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| 10.1. Provedení.....                                               | 33        |
| 10.2. Třífázová scintigrafie + SPECT.....                          | 33        |
| 10.3. Hodnocení.....                                               | 34        |
| 10.4. Zdroje chyb.....                                             | 34        |
| <b>11. Vztah scintigrafie a ostatních zobrazovacích metod.....</b> | <b>34</b> |
| 11.1. Rtg zobrazení.....                                           | 35        |
| 11.1.1. Rtg v klinice.....                                         | 35        |
| 11.2. Ultrazvuková sonografie (SONO).....                          | 35        |
| 11.2.1. SONO v klinice.....                                        | 36        |
| 11.3. Magnetická rezonance (MRI).....                              | 36        |
| 11.3.1. MRI v klinice.....                                         | 37        |
| 11.4. Výpočetní tomografie (CT).....                               | 38        |
| 11.4.1. CT v klinice.....                                          | 38        |
| <b>12. Artroskopie.....</b>                                        | <b>38</b> |
| 12.1. Technické vybavení.....                                      | 39        |
| 12.2. Poloha pacienta.....                                         | 40        |
| 12.3. Indikace.....                                                | 40        |
| 12.4. Kontraindikace.....                                          | 41        |
| <b>13. Artroskopie menisků.....</b>                                | <b>41</b> |
| 13.1. Resekce menisku (menisektomie).....                          | 41        |
| 13.2. Rekonstrukce menisku (sutura, refixace).....                 | 42        |
| 13.2.1. Obecné zásady operační techniky.....                       | 42        |
| 13.2.2. Operační technika inside-outside.....                      | 43        |
| 13.2.3. Operační technika outside-inside.....                      | 43        |
| 13.2.4. Operační technika all-inside.....                          | 44        |
| 13.2.5. Operační technika all-inside s implantáty.....             | 44        |
| 13.3. Ganglion (cysta) menisku.....                                | 45        |
| 13.4. Diskoidní meniskus.....                                      | 45        |
| <b>14. Metodika.....</b>                                           | <b>46</b> |
| <b>15. Metoda.....</b>                                             | <b>47</b> |

|                                           |           |
|-------------------------------------------|-----------|
| <b>16. Výsledky.....</b>                  | <b>49</b> |
| <b>17. Diskuze.....</b>                   | <b>53</b> |
| <b>18. Závěr.....</b>                     | <b>57</b> |
| <b>19. Klíčová slova.....</b>             | <b>59</b> |
| <b>20. Seznam použité literatury.....</b> | <b>60</b> |
| <b>21. Příloha.....</b>                   | <b>61</b> |

## 1. Úvod

Bakalářskou práci na téma – Spolehlivost vyšetření SPECT při diagnostice poranění menisků kolenního kloubu, jsem si vybrala, protože mě zajímala problematika vyšetření menisků kolenního kloubu, dalším důvodem výběru tohoto tématu je, že v Nemocnici Znojmo se používá metoda SPECT před artroskopií kolenního kloubu. Vyšetření se provádí na zdejší oddělení nukleární medicíny. V Nemocnici Znojmo není dosud k dispozici magnetická rezonance (MRI), nejbližší nemocnice s MRI je v Brně.

Poranění menisků je jedno z nejčastějších úrazových postižení kolenních kloubů, vzniká většinou špatně koordinovaným rotačním pohybem v kloubu. Při roztržení menisku se objeví bolest, otok a omezená pohyblivost v kloubu. Většina úrazů s poraněním menisků souvisí se sportem, častěji s rekreačním sportem. Nejčastěji jsou postižení fotbalisté, hráči squashe, snowboardisté, lyžaři. Souvisí to často s nepřiměřenou zátěží, na kterou není jedinec trénován. Důležitým faktorem je i přehlížení drobných poranění a nedoléčení dřívějších poranění. V tom případě se naruší správný pohybový stereotyp a to může vést k poranění.

Odhalení poranění menisků je velice obtížné, vzhledem k jejich uložení uvnitř kolenního kloubu, dosud není k dispozici metoda, která by před operací poranění spolehlivě odhalila. Kolenní kloub lze vyšetřit mnoha způsoby, invazivními a neinvazivními. Invazivní široce užívanou diagnostickou a zároveň léčebnou metodou je artroskopie. Mezi neinvazivní metody patří kostní scintigrafie s použitím tomografického zobrazení SPECT, SONO a MRI.

Hlavní „parketou“ nukleární medicíny je neinvazivní zobrazování a kvantifikace struktur a dějů v organismu, které se vyznačují určitou specifickou funkcí a metabolismem, které lze „vystopovat“ vhodným radiofarmakem a zobrazit pomocí zevní detekce záření gama. Míra lokální akumulace radiofarmak závisí na intenzitě místních metabolických a funkčních dějů v orgánech a tkáních. Případné anomálie a poruchy lze pomocí scintigrafického zobrazení lokalizovat a kvantifikovat.

V případě podezření na poranění menisku nastupuje na řadu artroskopie, což je široce užívaná invazivní metoda. Dříve se poškozené menisky odstraňovaly celé.

Jestliže se však menisky odstraní, dojde ke ztrátě specifického pružného „polštáře“, který některé pohyby tlumí a jiné zase podporuje. Když jsou menisky pryč, během deseti let se často objeví příznaky artrózy. Dnes se celé menisky odstraňují jen velmi zřídka. Namísto toho se k ošetření poranění menisku používá artroskopie, což je jen málo invazivní zásah. Ortoped většinou ze dvou malých řezů zavede do kolena sondu s optikou a na obrazovce prohlédne kloubní dutinu. Druhým otvorem zavede nástroj (vyšetřovací háček, kleštičky, nůžky, frézku) a poraněnou část menisku ošetří nebo odstraní. Funkce menisku se přitom tolik neporuší. Zároveň se může vyloučit další poranění struktur kolenního kloubu – zkřížených a postranních vazů a posoudit stav opotřebení či poranění chrupavek.

## **2. Současný stav**

Diagnóza poranění menisku se stanoví posouzením mechanismu úrazu a vyšetřením.

Vyšetření kolenního kloubu se může provádět mnoha způsoby, invazivními a neinvazivními.

Radiologické metody – snímky v různých projekcích, ultrazvuk, CT a MRI se řadí mezi neinvazivní metody.

Rentgenové vyšetření jen vyloučí možnost jiného poranění – meniskus na RTG vidět není. Ultrazvukové vyšetření menisků není zcela spolehlivé. MRI je finančně náročná.

Další možností neinvazivního vyšetření je kostní scintigrafie s použitím tomografického zobrazení SPECT. Scintigrafie skeletu je nukleárně medicínská diagnostická metoda, která pomocí planárního nebo tomografického vyšetření (SPECT) distribuce vhodného radiofarmaka v kostním systému odhaluje patologické léze charakterizované změněnou metabolickou aktivitou. Pro snadnou reprodukovatelnost je metoda v indikovaných případech vhodná pro rutinní vyšetření. Další výhodou je její finanční nenáročnost.

Invazivní široce užívanou metodou je artroskopie, artroskopie je endoskopická metoda umožňující z minimálního přístupu vizuální diagnostiku i operační řešení nitrokloubních poranění a dalších patologických stavů. Artroskopie dramaticky změnila přístup ortopedů a traumatologů k diagnostice a léčení nejrůznějších traumat a onemocnění. Vysoká klinická přesnost metody v kombinaci s krátkodobou nemocností způsobila výjimečnou výhodnost artroskopie při diagnostice s určením prognózy a následné terapie. Artroskopické výkony jsou výhodnější než otevřené operace.

### **3. Cíl práce**

Cílem mé práce bylo stanovit spolehlivost metody SPECT při diagnostice poranění menisků kolenních kloubů a poskytnout více informací na dané téma, popsat jednotlivé výhody a nevýhody metody SPECT a porovnat je s jinými diagnostickými zobrazovacími metodami.

Dosud bylo ve světovém písemnictví publikováno jen velmi málo prací hodnotících tuto metodu ve vztahu k poranění menisků.

### **4. Hypotéza**

Vyšetření menisků kolenních kloubů pomocí SPECT a artroskopie mají stejnou diagnostickou výtežnost.

## 5. Anatomie kolenního kloubu

V *kolenním kloubu* se spojuje distální část kosti stehenní, proximální část kosti holenní a česka. Ke spojení dochází:

- v oblasti tibiálního kondylu stehenní kosti, který spočívá na tibiální kloubní plošce kosti holenní. Kondyl je značně vypouklý, vejčitého tvaru, kdežto kloubní ploška je poměrně plochá. Inkongruence mezi kloubními ploškami se vyrovnává tím, že se mezi ně vsouvá poloměsíčitá destička vazivové chrupavky – menisku medialis, který má podobu písmene C. Konkavita menisku směřuje proti eminentia intercondylica (vyvýšenina mezi kloubními ploškami kosti stehenní, která má dva hrbolky – zevní a vnitřní). Menisky jsou na zevním konvexním okraji poměrně vysoké, na vnitřním, konkávním okraji jsou tenčí,

- v oblasti fibulárního kondylu stehenní kosti, která spočívá na fibulární kloubní plošce kosti holenní. Rovněž zde je inkongruence kloubních plošek vyrovnána fibulárním meniskem, který je kruhovitěho tvaru a svými konci se spojuje s eminentia intercondylica. Tento meniskus je zvýšeně pohyblivý, a proto je méně často traumaticky narušován. Oba menisky jsou spojeny příčným vazivem (ligamentum transversum genus),

- v patelofemorálním spojení, které je vytvářeno ploškou mezi styčnými plochami zevního a vnitřního kondylu stehenní kosti (facies patellaris), v níž klouže česka.

Pouzdro kloubní je velmi prostorné – na kosti stehenní se upíná 0,5 – 2 cm od okrajů kloubní chrupavky, epikondyly leží mimo pouzdro. Na kosti holenní a česce se upíná při okraji kloubní chrupavky. Vpředu po obou stranách česky se mezi vrstvu synoviální a zevní vrstvu pouzdra vsouvá tuková vrstva, která vytváří při nataženém kolenním kloubu dva měkké valy po obou stranách českového vazy.

Pouzdro je zesíleno četnými vazy. Vpředu je to vaz českový (ligamentum patellae). Patří k extenčnímu aparátu kolena, který je vytvářen m. quadriceps femoris, patelou, jejím závěsným aparátem a ligamentum patellae. Ligamentum patellae je

konečným úponem čtyřhlavého svalu. Jeho povrchová část přechází přes ventrální plochu pately a dorzální plocha vazů je oddělena od kloubu Hoffovým tělesem. Vaz se upíná na tuberositas tibiae, těsně nad úponem leží bursa infrapatellaris profunda. Závěsný aparát česky, retinacula patellae, zesiluje přední část pouzdra a vytváří tři nad sebou ležící vrstvy.

K standardnímu popisu extenčního aparátu se používá tzv. Q-úhel tvořený linií tahu m. quadriceps a linií šlachy, která se upíná na střed pately. Klinicky je tento úhel vytvářen linií spuštěnou ze spina iliaca anterior superior do středu pately a přímkou od tuberositas tibiae do středu pately. U mužů je normální úhel 8 - 10°, u žen 15°. Valgozita kolena, abnormální funkce m. quadriceps, vnější torze tibie a laterálně postavená tuberositas tibiae tento úhel ještě zvětšují.

Po stranách je pouzdro zesíleno vazy postranními, vnitřním a zevním. Vnitřní postranní vaz (ligamentum collaterale tibiale) odstupuje od vnitřního epikondylu kosti stehenní a upíná se na vnitřním a zadním okraji kosti holenní. Srůstá s pouzdem kloubním, a tím i s vnitřním meniskem. Zevní postranní vaz (ligamentum collaterale fibulare) jde od zevního epikondylu kosti stehenní na hlavičku kosti lýtkové. Zadní stranu kloubního pouzdra zesiluje šikmý vaz zákolenní (ligamentum popliteum obliquum), který je vlastně součástí úponové šlachy m. semimembranosus. Jde šikmo od vnitřního okraje vnitřního pouzdra a při flexi brání jeho uskřínutí.

Zkřížené vazy (ligamenta cruciata genus) jsou dva silné vazivové pruhy navzájem se křížící, uložené mezi synoviální a fibrózní vrstvou kloubního pouzdra. Přední vaz zkřížený (ligamentum cruciatum anterius) jde od vnitřní plochy zevního kondylu femuru šikmo dopředu do jámy před vyvýšeninou mezihrbolovou (jako ruka do kapsy). Zadní vaz zkřížený (ligamentum cruciatum posterius) začíná od zevní plochy vnitřního kondylu femuru, jde šikmo dozadu dolů a upíná se v zadní jamce mezihrbolové. Tyto vazy zpevňují spojení kosti stehenní s kostí holenní. Zkřížené vazy brzdí také vnitřní rotaci, navíjejí se totiž na sebe, a tím brání pokračování pohybu.

V okolí kolenního kloubu je několik burz, z nichž některé mohou komunikovat s kloubní dutinou. Z komunikujících burz je to burza nadčesková (bursa suprapatellaris)

uložená mezi kostí stehenní a čtyřhlavým svaem stehenním, a dále jsou dvě burzy, které se vyskytují při přechodu šlachy m. semimembranosus přes kolenní kloub.

Z burz, které nejsou spojeny s dutinou kolenního kloubu, je třeba uvést následující burzy: mezi fascií kryjící šlachu čtyřhlavého svalu a kůží se nachází bursa subcutanea praepatellaris, mezi fascií a uvedenou šlachou je bursa subfascialis praepatellaris a konečně pod touto šlachou se nachází bursa subtendinea praepatellaris.

Dalšími burzami jsou bursa subcutanea tuberositas tibiae (mezi kůží a tuberositas tibiae) a bursa infrapatellaris profunda (mezi ligamentum patellae a tuberositas tibiae).

### **5.1. Svaly ovládající kolenní kloub**

*Posteromediální skupina.* Hlavní svalovou strukturou je m. semimebranosus. Začíná na hrbolu kosti sedací a přechází silnou šlachou k tibiální straně proximálního konce tibiae. Zde se dělí ve tři pruhy. Přední pruh jde pod ligamentum collaterale tibiale a končí v blízkosti tuberositas tibiae, střední pruh se upíná na vnitřní kondyl tibiae, zadní pruh přechází v ligamentum obliquum. Další svaem je m. semitendinosus, který jde od hrbolu kosti sedací k vnitřnímu kondylu kosti stehenní a m. gracilis, který začíná na kosti stydké při symfýze a upíná se s m. sartorius a m. semitendinosus na tibií společnou úponovou šlachou označovanou jako pes anserinus. Mezi fascií a pes anserinus je bursa anserina. M. sartorius začíná od spina iliaca anterior superior, probíhá na přední straně stehna a upíná se do pes anserinus.

Všechny tyto svaly se podílejí na flexi kolenního kloubu a některé i na jeho rotaci.

*Posterolaterální komplex :* m. biceps femoris je uložen na fibulární straně stehna, skládá se z dlouhé a krátké hlavy. Dlouhá hlava začíná na hrbolu sedacím, krátká hlava v dolní polovině zevního okraje stehenní kosti. Obě hlavy se spojují ve šlachou, která probíhá podél ligamentum collaterale fibulare na hlavici fibuly. Mezi vazem a šlachou je burza. Sval se podílí na flexi v kolenním kloubu a na zevní rotaci.

*Anteromediálně* je mohutná skupina extenzorů. Jejím základem je m. quadriceps femoris, který se skládá ze čtyř svalů: m. rectus femoris. m. vastus intermedius, m. vastus medialis a m. vastus lateralis.

M. rectus femoris začíná na spina iliaca anterior inferior a nad acetabulem. Jeho svalové bříško přechází v aponeurózu, která se zužuje ve šlachu splývající se šlachou m. vastus intermedius. Spolu s ní zabírá do sebe čéšku a jako ligamentum patellae se upíná na tuberositas tibiae.

Dalšími složkami čtyřhlavého svalu je m. vastus intermedius, který je uložen pod předešlým svalem, m. vastus medialis na mediální straně stehna a m. vastus lateralis na jeho zevní straně.

Čtyřhlavý sval provádí extenzi v kloubu kolenním a m. rectus femoris mimo to ohýbá kloub kyčelní.

## 6. Detekce ionizujícího záření

V následujícím textu je pojednáváno o zobrazovacích nukleárně medicínských metodách (metodách „in vivo“). Text se nezabývá laboratorními metodami využívajícími ionizující záření k diagnostice (radioimunologické metody).

Cílem radionuklidového vyšetření je hodnocení průběhu metabolického děje, funkce nebo zobrazení orgánu. Princip vyšetření spočívá ve sledování konkrétní látky (radiofarmaka), jejíž význam pro vyšetřovanou funkci je známý. Látka je označena radioaktivními atomy. Projevem radioaktivní přeměny atomového jádra, který je možné zaznamenat ve vzdáleném místě, je emise ionizujícího záření – pro diagnostiku zobrazením v nukleární medicíně je využitelné záření gama. Základním nástrojem radionuklidových vyšetření jsou tedy přístroje pro detekci ionizujícího záření.

### 6.1. Interakce ionizujícího záření s hmotou

Metody detekce ionizujícího záření jsou založeny na výsledku interakce záření s hmotou. Záření se při průchodu hmotným prostředím zeslabuje následkem absorpce a rozptylu, jeho intenzita ve směru šíření klesá úměrně s rostoucí tloušťkou látky. Nabité částice při průchodu látkou ztrácí svou energii především excitací a ionizací atomů, pružným rozptylem a emisí brzděného záření. Fotony záření gama se v látce absorbují třemi základními mechanismy: fotoefektem, Comptonovým rozptylem a tvorbou elektron-pozitronových párů.

Při *fotoelektrickém jevu (fotoefektu)* foton gama zanikne předáním celé své energie elektronu z vnitřní slupky, který vyrazí z atomu nebo přesune na vyšší energetickou hladinu. Uvolněné místo je obsazeno přeskokem elektronů z vyšší hladiny za současného vyzáření kvanta charakteristického rentgenového záření. Elektron vyražený z atomu ztrácí svou energii ionizací prostředí. Pravděpodobnost zániku fotonu gama fotoefektem klesá se třetí mocninou rostoucí energie fotonu a roste s čtvrtou mocninou atomového čísla absorbátoru. Fotoefekt se proto uplatňuje při interakci záření

gama nižší energie s látkami o vysoké atomové hmotnosti. V měkkých tkáních převažuje pravděpodobnost fotoefektu nad rozptylem při energiích fotonů pod 25 keV.

Foton gama s vyšší energií se v látkách s nižšími atomovými čísly absorbuje mechanismem označovaným jako *Comptonův rozptyl*. Pravděpodobnost této interakce je přímo úměrná atomovému číslu absorbátoru a nepřímo úměrná energii fotonu. Primární foton gama při Comptonově rozptylu nezaniká, pouze předá část své energie elektronu některé z vnějších sfér atomového obalu a pohybuje se dál s menší energií jiným směrem. Vyražený elektron (tzv. Comptonův) ztrácí svou energii ionizací prostředí a při zaplnění jeho místa se uvolní kvantum charakteristického záření.

Při ještě vyšší energii zaniká foton v blízkosti atomového jádra tvorbou *elektron-pozitronového páru*. Při energii fotonů menší než 1 MeV však podíl této interakce není významný.

Rozvojem pozitronové tomografie nabývá na praktickém významu pro diagnostiku děj označovaný jako anihilace pozitronu. Pozitronové zářiče emitují pozitrony, kladně nabitě antičástice elektronu. Dolet pozitronů je velmi krátký (ve tkáni maximálně několik milimetrů). Při setkání pozitronu s elektronem obě částice zaniknou, přičemž dojde ke vzniku dvou fotonů gama o energii 511 keV, které z místa anihilace odletí opačnými směry.

## **6.2. Obecné schéma detekčního přístroje**

Přístroj pro detekci ionizujícího záření se skládá ze tří základních částí: stínícího materiálu, vlastního detektoru a elektronické vyhodnocovací aparatury. Konkrétní uspořádání a význam každé části se u jednotlivých přístrojů liší podle druhu záření a účelu detekce.

### 6.2.1. Stínící materiál

Záření se z místa svého vzniku šíří všemi směry. V místě měření se vždy vyskytuje záření z různých zdrojů (kromě měřeného zdroje se uplatňuje tzv. radiační pozadí, tj. radioaktivita materiálů detektoru, stěn budovy, půdy, hornin, vzduchu, kosmického záření). Podmínkou přesného měření určitého zdroje je proto odstínění všech nežádoucích složek ionizujícího záření.

Při detekci záření za účelem zobrazení je nutné vymezit směr, ze kterého měření záření přichází, a potlačit nežádoucí složky záření z jiných směrů. Kromě běžného stínění se proto používají speciální olovené clony, tzv. *kolimátory*, které vymezují rozsah zorného pole a ovlivňují citlivost a rozlišovací schopnost detektoru. Čím přesnější je prostorové vymezení paprsků měřeného záření kolimátorem, tím více záření je jím pohlceno: tak je dosahováno vyšší prostorové rozlišovací schopnosti za cenu snížení celkové citlivosti detektoru (a naopak).

#### 6.2.1.1. Druhy kolimátorů

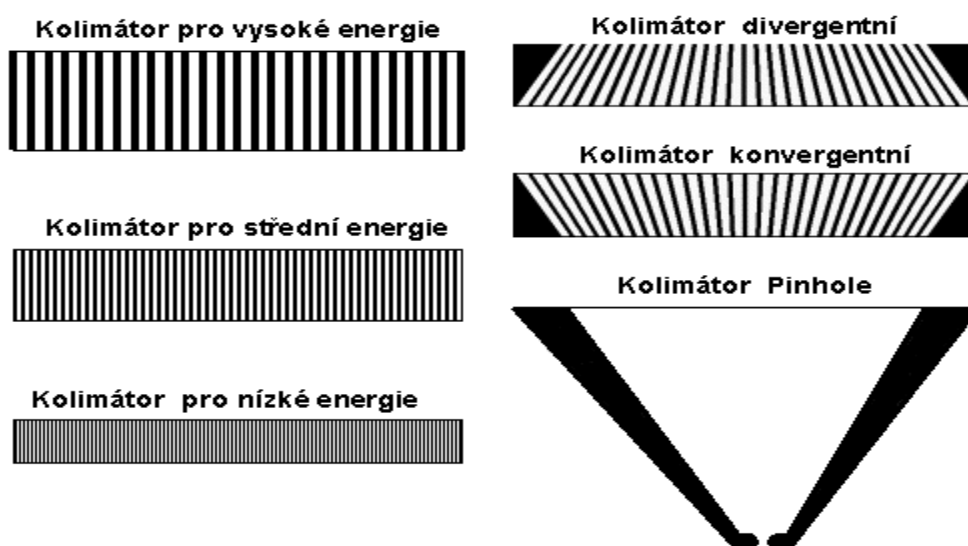
Nejčastěji používaným typem jsou kolimátory s paralelními otvory. Tím nejzákladnějším kritériem podle něhož se kolimátory rozdělují, je energie záření gama použitá pro scintigrafické zobrazení:

*Kolimátory pro vysoké energie (HE – High Energy)* musejí mít robustní konstrukci s dostatečně tlustými přepážkami mezi otvory, aby byla zabezpečena dostatečná absorpce záření gama, přicházejícího z šikmých směrů – aby nedocházelo k prozařování přepážkami.

*Kolimátory pro střední energie (Medium Energy)*, nejčastěji používané pro 364 keV  $^{131}\text{J}$ , mají rovněž poměrně robustní konstrukci s tloušťkou přepážek mezi otvory cca 2-3 mm

*Kolimátory pro nízké energie (LE – Low Energy)*, nejčastěji používané pro 140keV  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , jsou poměrně subtilní konstrukce s velkým počtem drobných otvorů, mezi nimiž jsou poměrně tenké přepážky (cca 0,3 – 0,5 mm).

**Obr.1. Základní druhy kolimátorů scintilačních kamer**



Dalším kritériem rozdělení kolimátorů je jejich požadované rozlišení a citlivost (účinnost). To se ovšem týká jen kolimátorů pro nízké energie.

*Kolimátory s vysokou účinností (HS – High Sensitivity)* mají krátké a poněkud větší otvory (samozřejmě tenké přepážky), aby kolimátorem procházelo co nejvíce záření gama z většího prostorového úhlu pro každý otvor. Nevýhodou je zhoršená rozlišovací schopnost. Kolimátory HS se nyní používají poměrně zřídka.

*Kolimátory s vysokým rozlišením (HR – High Resolution)* mají delší a drobnější otvory (cca 1-2 mm) s tenkými přepážkami (cca 0,2 – 0,4 mm), takže každý otvor snímá záření z poměrně malého prostorového úhlu. Vyšší rozlišení vede k nižší detekční účinnosti ve srovnání s HS. Tento typ kolimátoru se v současné době jeví jako neoptimálnější.

*Kolimátory s ultra-vysokým rozlišením (UHR – Ultra High Resolution)* mají dlouhé a velmi drobné otvory (cca 1 mm), při dostatečně tenkých přepážkách (cca 0,1 – 0,2 mm), což zaručuje velmi vysokou rozlišovací schopnost, která se navíc jen pomaleji zhoršuje se vzdáleností od čela kolimátoru. Dosahuje se toho však bohužel za cenu

výrazně snížené citlivost (detekční účinnost) – asi 4krát, což činí tento kolimátor jen velmi omezeně použitelný.

*Kolimátor s vhodným kompresivem mezi rozlišením a citlivostí* (označují se někdy jako *LEAP – Low Energy All Purpose*) se užívají za účelem jejich univerzálnosti. Řada pracovišť však akcentuje spíše vyšší rozlišovací schopnost při poněkud zvýšené době akvizice či poněkud vyšší použité radioaktivitě.

Kromě kolimátorů s paralelními otvory se pro některé speciální účely používají i kolimátory s jinak geometricky uspořádanými otvory:

*Kolimátor typu Pinhole – jednoděrový kolimátor*, jeho detekční účinnost je obecně velmi malá, velikost obrazu (tj. měřítko zobrazení) velmi silně závisí na vzdálenosti zobrazovaného objektu od otvoru kolimátoru Pinhole.

*Kolimátory konvergentní a divergentní* se sbíhajícími nebo rozbíhajícími se otvory směřující do určitého bodu – ohniska. Tyto kolimátory umožňují zvětšení nebo zmenšení obrazu promítnutého na scintilační krystal kamery.

*Kolimátory Fan Beam* – jsou konvergentní jen v jednom směru, zatímco v druhém směru jsou otvory paralelní – ohnisko je přímka (resp. úsečka). Tyto kolimátory se občas využívají u scintigrafie SPECT při zobrazení mozku a myokardu. Výhodou je, že mají relativně vysokou citlivost a zároveň dobré rozlišení.

### **6.2.2. Detektory ionizujícího záření**

Detektory ionizujícího záření představují rozsáhlou heterogenní skupinu přístrojů. Princip detekce je ovšem společný: záření prochází citlivým objemem detektoru a v detekční látce se částečně absorbuje. Absorbovaná energie vyvolá odezvu, kterou je možné registrovat a vyhodnotit (jako elektrický signál, světelný záblesk, apod.), detektory můžeme třídit podle principu detekce, druhu, registrovaných částic a dalších kritérií.

Na pracovištích nukleární medicíny se využívají především scintilační detektory. Při měření kontaminace povrchů radioaktivním materiálem se používají detektory

plněné plynem. Pro účely osobní dozimetrie se používají různé typy detektorů (filmové, termoluminiscenční). Ve speciálních aplikacích a výzkumu se uplatňují polovodičové detektory.

*Scintilační detektor* využívá radioluminiscence, tj. schopnosti radioaktivního záření vyvolat světélkování některých látek. Detektor se skládá ze tří částí: scintilátoru, světlovodného materiálu (světlovodu) a fotonásobiče.

*Scintilátor* je látka, která po excitaci nabitými částicemi vysílá světelné záření ve viditelné až ultrafialové části spektra. Scintilátory mohou být anorganické nebo organické krystaly, kapalně nebo plastické materiály či vzácné plyny. V nukleární medicíně se nejčastěji používají krystaly jodidu sodného aktivovaného thaliem – NaI (Tl).

Při průletu fotonu záření gama scintilátorem mohou nastat následující případy: foton se může ve scintilátoru zcela absorbovat a vzniklý elektron způsobí scintilaci (záblesk) modrofialového světla. Intenzita záblesku je úměrná energii absorbovaného fotonu gama. Může také dojít k jednoduchému nebo vícenásobnému Comptonovu rozptylu. Sekundární fotony gama jsou potom absorbovány fotoefektem nebo z krystalu uniknou. V tom případě se v detektoru absorbuje pouze část původní energie primárního fotonu. Účinnost přeměny energie fotonu záření gama na energii viditelného světla záblesku (tzv. konverzní účinnost scintilátoru) odpovídá v krystalu NaI (Tl) 20 – 30 světelným fotonům na 1keV absorbované energie záření gama.

Scintilátor je umístěn ve světlotěsném hliníkovém pouzdře, které chrání krystal před pronikáním vlhkosti vzduchu a celý detektor před pronikáním vnějšího světla. Vnitřní stěny pouzdra jsou opatřeny reflexní vrstvou, která světelné fotony odráží na fotokatodu fotonásobiče. Mezi scintilátorem a fotonásobičem je průhledné okénko. Prostor mezi ním a fotokatodou je vyplněn *světlovodným materiálem* zajišťujícím dobrý optický kontakt fotokatody s krystalem.

*Fotonásobič* mění slabé světelné záblesky ze scintilátoru na měřitelné elektrické impulsy. Je to evakuovaná skleněná trubice se třemi druhy elektrod. Z fotokatody jsou po absorpci světelných fotonů emitovány elektrony. Ty jsou elektrickým polem usměrněny na systém dynod, ze kterých jsou sekundární emisí uvolňovány další

elektrony (materiál dynody reaguje na dopad jednoho elektronu emisí mnoha elektronů). Počet elektronů na dynodách lavinovitě narůstá, takže z poslední dynody dopadá na anodu velký počet elektronů. Velikost napětového pulsu na výstupu fotonásobiče je úměrná energii, kterou ionizující částice ztratila ve scintilátoru.

### **6.2.3. Elektronická vyhodnocovací aparatura**

Na výstupu fotonásobiče se objevuje velké množství napětových impulsů, které je třeba dále zpracovat a vyhodnotit. Pro tento účel se používá řada elektronických obvodů, které impulsy zesilují, třídí podle velikosti a počítají. Třídění impulsů provádí tzv. amplitudový analyzátor.

Amplitudový analyzátor slouží k rozlišení velikosti zesílených napětových impulsů z fotonásobiče a tím také k rozlišení energie fotonů záření gama zachycených v detektoru. Základní součástí analyzátoru je tzv. diskriminátor. Je to elektronický obvod, kterým projdou pouze impulsy s amplitudou vyšší než je nastavená diskriminační hladina. Amplitudový analyzátor se skládá ze dvou diskriminátorů a tzv. antikoincidenčního obvodu. Diskriminační hladina je v každém diskriminátoru nastavena na různou hodnotu. Napětový impuls vstupuje paralelně do obou diskriminátorů. Stav na jejich výstupu je hodnocen antikoincidenčním obvodem. Ten propustí impuls pouze tehdy, objeví-li se na výstupu pouze jednoho diskriminátoru (antikoincidence). K tomu dojde, překoná-li impuls pouze nižší z obou diskriminačních hladin. Rozdíl diskriminačních hladin vyjádřeny v jednotkách energie záření gama se označuje jako energetické okno analyzátoru.

Změny úrovně diskriminačních hladin a šířky energetického okna lze využít pro měření intenzity záření při různých energiích a získání energetického scintilačního spektra záření gama. Na rozdíl od čárového emisního spektra radionuklidu má scintilační (přístrojové) spektrum složitější tvar, ve kterém rozlišujeme dvě hlavní části: tzv. fotopík a Comptonovo spojitě spektrum.

V oblasti fotopíku (kterých může být více, protože některé radionuklidy emitují více druhů záření s různou energií) jsou zaregistrovány nerozptýlené fotony zcela absorbované ve scintilátoru. Obě části spektra se částečně překrývají.

Impulsy prošlé analyzátozem jsou počítány čítačem impulsů. Počet impulsů je indikován na číslicovém ukazateli vždy po určité době nastavené na elektronických stopkách nebo průběžně na tzv. měřiči četnosti (integrátoru), což je ručkové měřidlo s výchylnou úměrnou měřené četnosti impulsů.

#### **6.2.4 Záznam výsledků**

Každé měření může být provedeno dvojím způsobem: *analogově (spojitě)* nebo *digitálně (číslicově)*.

Při analogovém měření se převádí měřená veličina (např. teplota lidského těla) na analogickou veličinu, (objem rtuti v kapiláře klasického lékařského teploměru), která se teprve měří. Český výraz „spojitý“ odráží spojitost závislosti mezi oběma veličinami. V určitém rozmezí hodnot měřené veličiny je tato závislost graficky znázorněna hladkou, spojitou čarou (každé hodnotě měřené veličiny odpovídá jediná hodnota analogické veličiny).

Při digitálním měření se odečítá z číslicové zobrazovací jednotky přímo číselná hodnota výsledku. Přesnost měření závisí na počtu číslic, které jsou na ukazateli zobrazovány. Výhodou digitálního měření je možnost uložení výsledků do paměti počítače a jejich následné výpočetní zpracování. Primární výstupní signál měřícího přístroje je obvykle analogový (nejčastěji to je elektrické napětí, které se spojitě mění v závislosti na hodnotách měřené veličiny) a v případě digitálního měření je třeba ho digitalizovat.

Digitalizace signálu se provádí analogově-digitálním převodníkem, do kterého plynule vstupuje řada čísel odpovídajících diskretním (navzájem odděleným) hodnotám (vzorkům) vstupního signálu změřených ve zvolených časových intervalech. Proces digitalizace se označuje také jako vzorkování signálu.

Výsledky měření v analogové formě jsou nejčastěji zobrazovány ručkovým měřidlem a zaznamenány čárovým (liniovým) zapisovačem. Mohou být také zobrazeny na obrazovce osciloskopu jako časový průběh měřené veličiny, nebo zaznamenány na magnetofonový pásek. Výsledky měření v digitální formě jsou zobrazovány číslicovým ukazatelem s určitým počtem platných číslic. Zaznamenány mohou být jako čísla vytištěná tiskárnou, jako body grafu vykresleného bodovým zapisovačem, případně uloženy do paměti počítače. Po výpočetním zpracování, které může probíhat dodatečně nebo současně s měřením, lze výsledky zobrazit na obrazovce počítače či vytisknout v přehledné formě a grafické úpravě včetně pomocných a kontrolních údajů. Výpočetní technika se v posledních letech stala součástí převážné většiny měřících přístrojů v nukleární medicíně. Kromě zpracování výsledků se využívá pro samočinné ovládání měřících aparatur, archivaci a přenášení dat, administrativní, statické a další práce.

## **7. Zobrazovací metody nukleární medicíny**

Scintigrafické metody se dělí na statické a dynamické podle toho, zda zachycují rozložení radiofarmaka v jednom nebo více časových intervalech, a dále na planární a tomografické podle toho, zda zobrazují jednu projekci nebo obraz řezu, tenké vrstvy, rekonstruovaný z mnoha projekcí. Tomografické metody poskytují převážně statické obrazy. Moderní přístroje však stále častěji umožňují provádět také dynamická tomografická vyšetření.

### **7.1. Statická scintigrafie**

Pořizuje se zpravidla jediný snímek rozložení radiofarmaka ve vyšetřované anatomické oblasti po určité době od aplikace. Tato doba je zvolena např. tak, aby se označená látka nahromadila v dostatečném množství ve všech buňkách s normální funkcí. Na snímku

potom místa s menším počtem impulsů odpovídají místům s porušenou funkcí, místa s větším počtem impulsů mohou odpovídat hyperfunkci (interpretace vždy záleží na druhu použitého indikátoru). Jindy se indikátor hromadí pouze v patologickém ložisku. Statická scintigrafie přináší informaci o funkci vyšetřované tkáně. O statických snímcích hovoříme také tehdy, je-li výsledkem vyšetření několik snímků pořízených s velkými časovými odstupy (hodiny, dny).

## **7.2. Dynamická scintigrafie**

Pořizuje se série snímků zachycující jednotlivé fáze průchodu radiofarmaka vyšetřovanou anatomickou oblastí. Expozice jsou poměrně krátké (od několika sekund po několik minut), celková doba snímání je určena trváním vyšetřovaného děje, obvykle jsou to minuty až desítky minut. Záznam dynamické scintigrafie lze hodnotit vizuálně, empiricky, nebo kvantitativně, výpočtem křivek z oblastí zájmu, ze kterých se odvozují diagnostické parametry vyšetřované funkce. V některých indikacích je užitečné vizuálně hodnotit zobrazení pohybu zrychleným promítáním snímků dynamické studie na obrazovce (playback, cine mode).

## **8. Tomografická scintigrafie**

Každý živý organismus je objekt trojrozměrný a stejný charakter má tedy i distribuce radioindikátoru (radiofarmaka).

Planární scintigrafický obraz, který je dvojrozměrnou projekcí skutečnosti, může proto zachycovat jen část reality. O distribuci radioindikátoru v „hloubkovém třetím rozměru“, kolmém k čelu kolimátoru, se nemůže z planárního scintigrafického obrazu nic zjistit. Planární scintigrafické obrazy mají z tohoto hlediska závažné úskalí – možnost překrývání a superpozice struktur uložených v různých hloubkách. Pomoc je

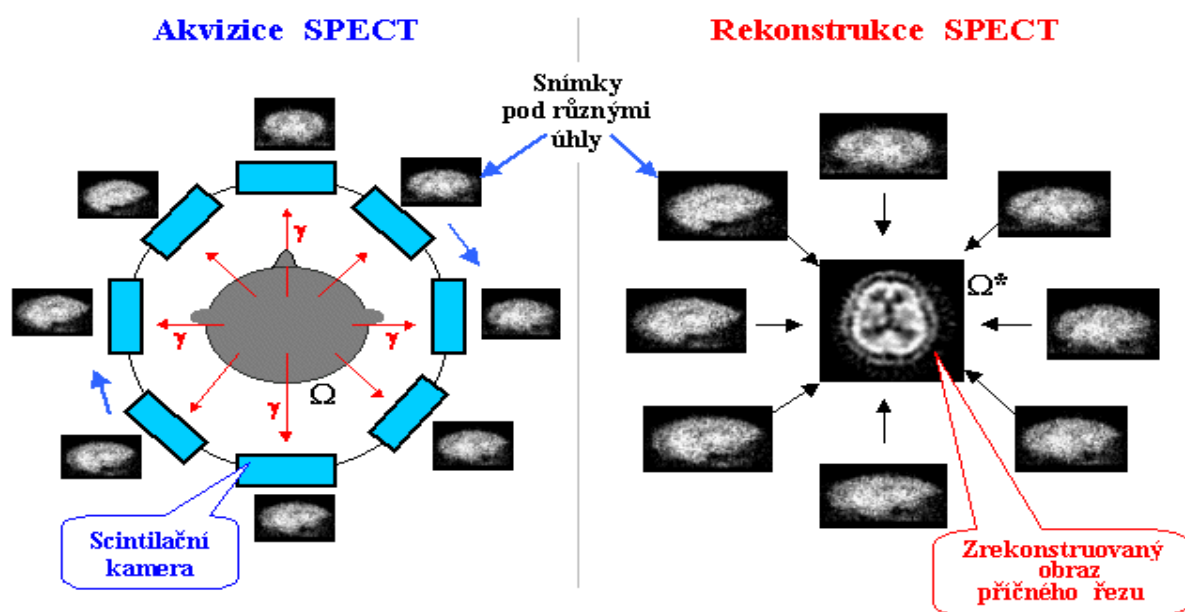
zde zobrazování ve více různých projekcích, avšak riziko falešného nálezu či neodhalení anomálie v hloubi organismu, překryté jinou strukturou, nelze nikdy vyloučit. Superpozice záření z různých hloubek zobrazovaného objektu dále vede ke snížení kontrastu zobrazení lézí, které jsou v planárním obraze překrývány zářením z tkáňového pozadí.

Pro odstranění těchto nevýhod planární scintigrafie a pro získání komplexního zobrazení struktur v různých hloubkách byla vyvinuta tomografická scintigrafie poskytující trojrozměrné zobrazení distribuce radioindikátoru. Jednou z hlavních předností tomografického zobrazení je podstatně vyšší kontrast zobrazení lézí (až 10krát), které na transversálních řezech nejsou překrývány zářením z tkáňového pozadí.

### 8.1. Tomografická scintigrafie SPECT

Nejčastější metodou tomografické scintigrafie je tzv. jednofotonová emisní počítačová tomografie SPECT. Její princip je znázorněn na obrázku 2

Obr. 2. Princip SPECT



Princip snímání scintigrafických snímků vyšetřovaného objektu pod různými úhly rotující kamerou SPECT a jejich počítačové rekonstrukce do výsledného obrazu příčného řezu tímto objektem.

Tomografická kamera SPECT se svou konstrukcí od běžné planární kamery liší tím, že stojan na němž je detektor kamery upevněn, tzv. gantry, umožňuje motorický poháněnou rotaci detektoru kolem vyšetřovaného objektu. Vlastní tomografická scintigrafie SPECT pak spočívá v tom, že kamera obíhá postupně kolem vyšetřovaného objektu a pod řadou různých úhlů snímá (planární) scintigrafické obrazy vyšetřovaného objektu – většinou 32 či 64 obrazů pod úhly  $0^\circ$  -  $360^\circ$ .

Z této série planárních scintigrafických obrazů snímaných pod různými úhly se pak počítačově rekonstruuje obraz distribuce radioaktivity v myšleném příčném řezu vedeném vyšetřovaným objektem. Takovou rekonstrukci lze provést pro každý řádek obrazové matice úhlově snímaných obrazů, takže v paměti počítače vznikne celá série „vedle sebe naskládaných“ obrazů příčných řezů – jakýsi trojrozměrný „válec“ (u kamer s kruhovým zorným polem) či „krychle“ (resp. kvádr – u kamer s kvadrangulárním zorným polem), představující trojrozměrné zobrazení distribuce radioindikátoru ve vyšetřovaném objektu. Buňky tohoto trojrozměrného obrazu mají již objemový charakter a nazývají se „voxely“. Tímto trojrozměrným obrazem v paměti počítače pak metodami počítačové grafiky se mohou vést a zobrazovat na monitoru řezy v libovolných směrech – tedy nejen primární transversální řezy, ale i řezy podélné a šikmé, mohou se provádět různé geometrické reorientace a další úpravy tak, aby se co nejpřehledněji zobrazila požadovaná struktura. Pomocí metod počítačové grafiky lze pomocí vhodného stínování a perspektivního úhlového zobrazení vytvářet trojrozměrné 3D-obrazy s řadou počítačových efektů, které jsou sice umělé a nemusí přímo odrážet skutečnost, avšak jsou velmi názorné a efektní.

Používají se dvě metody počítačové rekonstrukce: metoda zpětné projekce a metoda iterativní rekonstrukce.

Základní metodou je *filtrovaná zpětná projekce (filtered backprojection)*. Nevýhoda samotné zpětné projekce je hvězdicovitý efekt. Proto se užívá filtrace –

negativní hodnoty po obou stranách promítaného signálu vedou k potlačení hvězdicovitého efektu, zůstává však šum, který je nutno odstranit dalšími speciálními filtry. Nově se užívá iterativní metody rekonstrukce.

Metoda *iterativní rekonstrukce* má tu základní vlastnost, že nevznikají hvězdicové artefakty, rovněž v oblastech s nízkou radioaktivitou (blízkou pozadí) jsou obrazy příčných řezů „čistší“ a kontrastnější – neobsahují „filamenty“ jako pozůstatky po paprscích zpětné projekce. Další výhodou iterativní rekonstrukce je možnost zavedení některých korekcí přímo do algoritmu rekonstrukce. Iterativní metoda rekonstrukce je však podstatně náročnější na počet aritmetických operací, takže se mohla začít rutinně využívat až s vývojem dostatečně rychlých počítačů (za použití koprocetorů) s vysokou kapacitou paměti.

#### **8.1.1. Nepříznivé vlivy u SPECT a jejich korekce**

Podobně jako u planární scintigrafie, i u scintigrafie SPECT se vyskytují některé nepříznivé a rušivé jevy, které mohou zhoršovat kvalitu zobrazení. Mezi tři základní nepříznivé vlivy patří:

*Nehomogenita zorného pole kamery.* Nehomogenita zorného pole detektoru kamery se projevuje standardním způsobem na každém obraze jednotlivých projekcí – dochází k arteficiálnímu snížení či zvýšení počtu impulsů v určitých místech obrazu. Při rotaci kamery se nehomogenní místo zorného pole detektoru geometricky přesunuje kruhově od obrazu k obrazu snímaného orgánu, takže po rekonstrukci se lokální nehomogenita detektoru kamery projeví jako prstencový artefakt ve výsledném obraze příčného řezu. U scintigrafie SPECT jsou proto kladeny zvýšené nároky na pokud možno co nejdokonalejší homogenitu zorného pole kamery.

*Absorbce záření gama.* Určité množství záření gama je během průchodu tkání od místa svého vzniku směrem k detektoru kamery absorbováno při interakci s látkou tkáně fotoefektem a Comptonovým rozptylem. Zeslabení záření gama absorbcí, nazývané atenuace, se po rekonstrukci na obrazech příčných řezů projevuje

arteficielním snížením počtu impulsů ve strukturách uložených ve větších hloubkách, ve srovnání se strukturami na povrchu. Na tuto absorpci je možné provést korekci.

*Mechanická nestabilita osy rotace.* Metoda SPECT je založena na rotaci detektorů kamery kolem vyšetřovaného objektu. Jelikož hmotnost detektorů kamery činí řádově stovky kilogramů (masivní olověné stínění), v gravitačním poli Země dochází během rotace k projevům značných tíhových sil, což klade zvýšené nároky na mechanické vlastnosti stojanu (gantry) zabezpečujícího rotaci kamery. Vlivem pružnosti materiálů a příp. vůlí v ložiscích gantry může během rotace docházet k nežádoucím mechanickým výkyvům a posunům detektoru kamery, která pak již neobíhá po přesné kružnici kolem přesně definované osy – dochází k tzv. posunům centra rotace (COR – Center Of Rotation). Tyto mechanické odchylky pak způsobují nežádoucí posuny v obrazech jednotlivých projekcí snímaných z určitých úhlů, což zavádí chyby a zhoršení kvality výsledných rekonstruovaných obrazů. Pro eliminaci tohoto nepříznivého vlivu je třeba provést korekci na posun centra rotace. Za tímto účelem je třeba nasnímat tomografickou scintigrafii pevného bodového zdroje (popř. několika zdrojů) v plném rozmezí úhlů  $0^\circ - 360^\circ$ , na niž se aplikuje speciální program, který z obrazů bodového zdroje v jednotlivých úhlech rotace odečte příslušné odchylky od přesně kruhového pohybu a uloží je do paměti počítače jako vektor odchylek ve směru X a Y v závislosti na úhlu rotace. Hodnoty tohoto vektoru se pak při praktické akvizici SPECT studií používají k počítačové korekci posunů v každém obraze pro příslušný úhel rotace.

## **9. Scintigrafická vyšetření**

Základní charakteristikou scintigrafie je zobrazení funkce. Lokální nahromadění (akumulace) radiofarmaka závisí na funkčním stavu vyšetřované tkáně.

Anatomické zobrazení radiodiagnostickými metodami umožňuje vizuálně hodnotit např. zlomeninu kosti, zúžení cévy, velikost cysty, nebo rozsah nádoru.

Funkční scintigrafické zobrazení naproti tomu umožňuje zobrazit např. hypoxii, zánět, perfúzi, koncentraci receptorů, intenzitu glykolýzy, apod. Lapidárně lze scintigrafii vůči ostatním zobrazovacím metodám vymezit konstatováním, že je jedinou metodou, která zobrazuje pouze živou tkáň. Neživou tkáň scintigraficky zobrazit nelze.

Scintigrafické zobrazení je založeno na známé farmakokinetice radiofarmak v organismu. Distribuci radiofarmaka v cílové tkáni po určité době od aplikace (statická scintigrafie) nebo v průběhu času (dynamická scintigrafie) lze pomocí scintilační kamery zobrazit a z výsledných snímků zhodnotit funkce, pro kterou je použitá látka indikátorem. Při hodnocení a interpretaci scintigrafických snímků je proto nezbytná znalost použitého indikátoru (radiofarmaka) a jeho základních fyzikálních, chemických a farmakologických charakteristik.

Velikost lokální akumulace radiofarmaka záleží na intenzitě místních metabolických a funkčních dějů. Případné poruchy funkce lze pomocí scintigrafického zobrazení lokalizovat a kvantifikovat. Poruchy funkce v mnoha případech předcházejí poruchám struktury. Proto lze patologické děje odhalit metodami nukleární medicíny zpravidla dříve než jinými zobrazovacími postupy. V porovnání s nimi jsou scintigrafické metody citlivější, často však méně specifické.

Z uvedeného existuje však mnoho výjimek, pro řadu patologických dějů jsou scintigrafické nálezy vysoce specifické. To platí v případech, kde specifičnost nálezu odráží specifičnost vazby radiofarmaka.

### **9.1. Scintigrafie skeletu**

Scintigrafie skeletu je nukleárně medicínská diagnostická metoda, která pomocí planárního nebo tomografického vyšetření (SPECT) distribuce vhodného radiofarmaka v kostním systému odhaluje patologické léze charakterizované změněnou metabolickou aktivitou.

K rozvoji této metody došlo začátkem sedmdesátých let díky zlepšené detekční technice (zavedení gamakamer do rutinního provozu) a sestrojení účinnějších radiofarmak (fosfátové komplexy).

Pro snadnou reprodukovatelnost je metoda v indikovaných případech vhodná pro rutinní vyšetření. Scintigram se může podle potřeby opakovat a nemá kontraindikace.

## **9.2. Patofyziologické poznámky**

Kost je metabolicky aktivním orgánem. Má nejen úlohu mechanickou, ale slouží i jako dynamická rezerva minerálů. Kostní buňky budují strukturu kostí, ale současně zajišťují její metabolickou funkci. Kost se skládá z 1/3 z organické složky (kolagenní vlákna, osteoblasty, osteoklasty, osteocyty) a ze 2/3 z anorganické složky (Na, Mg, F, P, Ca). Organická matrix je tvořena především kolagenními vlákny. Základní anorganickou složkou jsou krystaly hydroxyapatitu, na které je vázáno 90% vápníku. Mají tvar tyčinek a destiček o velikosti 20 - 60 nm a jsou rozloženy podél kolagenních vláken v přesyceném roztoku solí.

Růst a modulace skeletu jsou dokončeny ve 3. dekádě věku, po celý další život pokračuje remodelace skeletu – u mladých zdravých osob jsou v rovnováze katabolická (odbourávání) a anabolická fáze (novotvorba) remodelace, je výsledkem činnosti dvou kontinuálně se obnovujících populací buněk – osteoklastů a osteoblastů.

Proces je řízen hormony a vitamíny (parathormon, calcitonin, vitamín D). Nediferencované buňky kostního povrchu mohou být aktivovány na osteoklasty, které způsobují odbourávání kostí. Je-li jejich aktivita potlačena, přemění se na osteoblasty, které podporují výstavbu kostí. Osteoblasty obsahují alkalickou fosfatázu, která vytváří vysokou lokální koncentraci fosfátů, což vede překročením nasycenosti roztoku k vypadávání  $\text{Ca}^{2+}$ .

### 9.3. Princip metody

Kostní scintigrafie je vyšetřením funkčním, které zobrazí časné změny v metabolismu kostní tkáně. Jeho podstatou je zevní detekce podaného radiofarmaka ve skeletu:

- *planárním zobrazením* určité oblasti kostního systému,
- *celotělovým zobrazením* kostních a kloubních struktur, buď složením jednotlivých dílčích obrázků nebo automaticky pomocí počítačem řízeného pohyby vyšetřovacího stolu nebo gantry,
- *tomografickým zobrazením určité oblasti skeletu (SPECT)*,
- *třífázovou kostní scintigrafií*, která umožní zhodnotit distribuci radiofarmaka ve vyšetřované oblasti v časné fázi, ve fázi krevního poolu a v pozdní kostní fázi.

### 9.4. Radiofarmaka

V současné době jsou nejpoužívanějšími radiofarmaky pro zobrazení skeletu *fosfátové komplexy*, zejména bisfosfonáty, charakterizované řetězcem P-C-P (HEDP- hydroxyethylendifosfonat, HMDP- hydroxymethylendifosfonat a MDP- methylendifosfonat). Nejjednodušším, ale i nejrozšířenějším z nich je methylendifosfonát (MDP) značený  $^{99m}\text{Tc}$ .

Místo vazby fosfátových komplexů není přesně objasněno. Z velké části se asi váží na minerální složku – na povrch hydroxyapatitových krystalů chemisorpcí, vazba na organickou matrix je podstatně menší.

Intenzita tohoto procesu závisí na (a) nabídce – tedy regionálním průtoku krve, (b) osteoblastické aktivitě, která ovlivňuje tvorbu a růst hydroxyapatitových krystalů.

### 9.5. Provedení

Pacient se dostaví k aplikaci radiofarmaka na domluvenou hodinu, může před vyšetřením jíst i pít. Intravenózně se podá metylendifosfonát. Snímkuje se mezi 2. až 4. hodinou po aplikaci. Před vlastním vyšetřením je nutné vyprázdnění močového měchýře, jehož větší náplň ovlivňuje negativně hodnocení scintigramu. Po skončeném vyšetření se doporučuje větší příjem tekutin pro rychlé vyplavení radioaktivní moči z močového měchýře. Močový měchýř je při tomto vyšetření kritickým orgánem. Při vyšetření leží pacient na lůžku na zádech a snímkuje se v přední a zadní projekci. Dle potřeby se dělají detailní snímky.

Při použití planární scintilační kamery se na jeden snímek běžně střídá 300 000 až 500 000 impulsů. Zvolená oblast skeletu se snímá do paměti vyhodnocovacího počítače, což dovoluje semikvantitativní hodnocení.

Používá se nízkoenergetický paralelní kolimátor s vysokým rozlišením. Při vyšetření kloubů u malých dětí je vhodný jednootvorový (Pinhole) kolimátor.

### 9.6. Interpretace scintigramu

Pro správnou interpretaci scintigramu je nutné znát normální rozložení radiofarmaka ve skeletu a způsob, jakým se patologické ložisko projeví.

Rozložení radiofarmaka ve skeletu není uniformní. Pro každou část skeletu je výslednicí intraosseální vaskularizace a stupně osteogeneze. V místě s vyšším metabolismem je akumulace radiofarmaka větší – a to bez ohledu na to, zda jde o stav fyziologický (růstové zóny u dětí) nebo patologický (patologické procesy různé etiologie).

Patologické změny ve skeletu se nejčastěji projeví zvýšenou akumulací radiofarmaka – tzv. *horkými ložisky*. Méně často se pozoruje snížená akumulace radiofarmaka – tzv. *studená ložiska*. Jejich podkladem je osteolytický proces v kosti

s chybějící okolní osteoblastickou reakcí. Patologický nález na skeletu nepodá informaci o etiologii.

## **10. SPECT kolenních kloubů**

SPECT vyšetření kolenních kloubů následuje po třífázové scintigrafii, která je kombinací dynamické a statické scintigrafie (viz příloha).

### **10.1. Provedení**

Pacient se dostaví na vyšetření normálně najedený a napitý, intravenózně se aplikuje 740 MBq. K vyšetření použijeme fosfátové komplexy značené  $^{99m}\text{Tc}$ . Aplikace je pod kamerou, pacient leží na zádech, před vyšetřením se vymočí.

### **10.2. Třífázová scintigrafie + SPECT**

*1.fáze – perfúzní* – zobrazí regionální prokrvení sledované části skeletu. Nasnímáme 60 obrázků po 1 sekundě.

*2. fáze – krevní pool* – zachycuje přestup radiofarmaka z krevních cest do extracelulárního prostoru měkkých tkání a kostí. Snímáme po dobu 5 minut. Použijeme matici 64x64.

*3.fáze – kostní* - klasická statická kostní scintigrafie za 2 – 4 hodiny po podání radiofarmaka. Kost v AP a PA projekci. Použijeme matici 256 x 256.

Po 3. fázi následuje SPECT kolenních kloubů, použijeme matici 128 x 128, kolimátor High Resolution. Nastavíme 60 kroků po 3°. 1 krok trvá 15 sekund.

### **10.3. Hodnocení**

Dynamickou studii - semikvantitativně, porovnáváme s druhou končetinou.

Kostní fázi – porovnáváme vnitřní a zevní kondyl a zdravou končetinu s nemocnou.

Hyperémie je faktor, který činí diagnózu pravděpodobnou. V případě, že je hyperémie spojena s normální aktivitou v kostní fázi, o postižení menisku se jednat nebude.

### **10.4. Zdroje chyb**

- kontaminace močí
- velká vzdálenost detektoru kamery od povrchu těla
- snímání třetí fáze zahájené příliš brzy
- u starších lidí bývá artrosa, může být zdrojem falešně pozitivního nálezu. Nález zvýšené kostní aktivity zasahuje zpravidla do větší vzdálenosti od kloubní štěrbin.

## **11. Vztah scintigrafie a ostatních zobrazovacích metod**

Scintigrafie je jednou z několika zobrazovacích diagnostických metod používaných v medicíně. Každá z těchto metod má své možnosti použití, své výhody a úskalí. Pro objasnění pozice a úlohy scintigrafie ve spektru ostatních diagnostických metod budou stručně porovnány principy a diagnostické výpovědi nejdůležitějších zobrazovacích metod.

### **11.1. Rtg zobrazení**

Nejstarší dosud nejčastěji používanou zobrazovací metodou je rentgenové zobrazení. Pronikavé záření, vznikající v rentgence, prochází přes vyšetřovaný objekt (tkáň organismu), přičemž část záření se absorbuje v závislosti na hustotě tkáně, zatímco zbylá část prochází tkání a je zobrazována buď fotograficky, nebo na luminiscenčním stínítku, nebo nověji pomocí elektronických detektorů. Vzniká tak rentgenový obraz vyšetřované tkáně, který je stínovým obrazem denzitním, zobrazujícím rozdíly v hustotě tkání. V určitých případech lze kontrast zobrazení uměle zvýšit aplikací vhodných kontrastních látek.

#### **11.1.1. Rtg v klinice**

Neoddělitelnou součástí vyšetření kolenního kloubu je nativní snímek. Základní projekce jsou předozadní a boční, viz příloha.

Rentgenové vyšetření vyloučí možnost jiné patologie (fraktury, nádor). Meniskus na rtg snímku nejde vidět.

### **11.2. Ultrazvuková sonografie (SONO)**

Ultrazvuková sonografie je založena na šíření zvukových vln o vysoké frekvenci, tj. ultrazvuku, v pružném prostředí tkání a jeho odrazech na nehomogenitách. Narazí-li ultrazvuková vlna na oblast lišící se hustotou nebo elasticitou, dochází ke změnám rychlosti šíření, k lomu a odrazu vlny.

Piezoelektrický oscilátor sondy, přiložené do mechanického kontaktu s povrchem těla, periodicky vysílá krátké ultrazvukové signály, elektronická přijímací sonda zaznamenává odražený signál a elektronická aparatura vyhodnocuje časové a

poziční difference vyslaného a odraženého signálu a na základě toho vytváří na obrazovce obraz struktur podle jejich hustoty a elasticity.

Moderní sonografické přístroje umožňují provádět analýzu frekvence přijímaného ultrazvukového signálu: frekvence signálu odraženého od pohybujícího se objektu je poněkud zvýšená nebo snižena vlivem Doplerova jevu, podle toho, zda se objekt pohybuje směrem k přijímači nebo od přijímače.

#### **11.2.1. SONO v klinice**

Ultrasonografie menisků se začala rozvíjet až v druhé polovině 80. let. Počáteční skepse vycházela z velmi častých diagnostických neúspěchů této metody a nebyla plně vyvrácena ani s rozvojem ultrazvukové techniky.

Falešně pozitivní výsledky jsou důsledkem četných artefaktů, falešně negativní zase nezachycením drobných trhlin v ultrazvukově hůře přístupných částech menisku, zejména pars intermedia. Oprávněně přetrvává nedůvěra některých lékařů zvláště k pokusům přiřadit určitý echografický nález jednotlivým typům lézí.

Ultrazvuková diagnostika meniskopatií nemůže být nosnou, ale pomocnou vyšetřovací metodou, doplňující klinické vyšetření.

#### **11.3. Magnetická rezonance (MRI)**

Zobrazení magnetickou rezonancí je založeno na principu změn magnetických momentů atomových jader – protonů v silném statickém poli po aplikaci radiofrekvenčních pulzů (elektromagnetické vlnění v pásmu krátkých rozhlasových vln).

Aplikací pulzu o frekvenci, která je shodná s frekvencí precese protonů vznikne rezonance a vychýlení magnetického momentu o určitý úhel a k synchronizaci precese všech protonů. Po skončení pulzu se postupně navrácí do původního stavu. Čas, za který k tomu dojde je relaxační čas. Čas, nutný k návratu vychýleného magnetického

momentu se nazývá relaxační čas T1. Relaxační čas T2 je čas rozsynchronizování precese.

Signál se získává po sérii různých radiofrekvenčních pulzů, které se nazývají sekvence.

Stejné místo vyšetřovaného objektu má rozdílnou intenzitu signálu při různých typech sekvencí, a proto se zhotovuje větší počet různých typů sekvencí.

Při vyšetření se zhotovují vrstevné obrazy, pomocí různých typů sekvencí, které informují o rozdílech v relaxačních časech T1 vážené sekvence, T2 vážené sekvence (vážená = zdůrazněná, poměřovaná), nebo množství protonů, to je sekvence vážená podle protonové denzity, PD vážený obraz. Např. tekutina je v různých sekvencích T1, T2, PD různé intenzity – hyposignální, izosignální a hypersignální.

Někdy se provádějí sekvence i po aplikaci paramagnetické kontrastní látky. Po aplikaci se vidí změny, které svým magnetickým chováním vyvolá v molekulách vody. Délka vyšetření 20 – 60 minut.

#### **11.3.1. MRI v klinice**

Na sagitálních i koronárních řezech mají menisky trojúhelníkový tvar a homogenně nízký signál ve všech typech MR sekvencí. Řezy transversální nemají pro hodnocení menisků význam, poněvadž se je málokdy podaří zachytit v jedné vrstvě.

Periferní části menisků jsou strukturálně odlišné od části centrální, proto může být její signál v T1 váženém a proton-denzitním obraze vyšší. Nález může být výraznější u mladších pacientů, kde mohou přetrvávat rozsáhlejší okrsky vaskularizace. Tento obraz by neměl být považován za rupturu či degenerativní změny. (Normální a pozitivní nález viz příloha).

Během vyšetření není pacient vystaven radiační zátěži. Nevýhodou, resp. kontraindikací je přítomnost kovových materiálů v těle, vyšetření trvá delší dobu a je dražší.

#### **11.4. Výpočetní tomografie (CT)**

Principem metody je postupné „rentgenování“ zvolené oblasti v příčných vrstvách. Zdroj záření (rentgenka) a detektory jsou uloženy v tzv. gantry. V otvoru prstence je uložen vyšetřovaný pacient. Během expozice rotuje rentgenka v prstenci kolem objektu a prošlé, diferencovaně absorbované záření dopadá na detektory. Takto získaná data jsou digitalizována, složitě matematicky zpracována a převedena do viditelného obrazu, složeného z velkého množství tzv. pixelů (bodů) různého stupně šedi. Intenzita šedi odpovídá denzitě a tedy oslabení záření v objemové jednotce příslušné tkáně (voxlu). Denzita je uváděna v HU, Hounsfieldových jednotkách. Denzita vody odpovídá hodnotě 0 HU, denzita kortikalis kosti +1000 HU a denzita plynu -1000 HU. Denzitu tkání lze poměrně přesně měřit v uvedeném rozmezí.

Intravenózní aplikace kontrastních látek dovoluje zvýšit diagnostickou výtěžnost vyšetření a odlišit tkáně dobře se kontrastní látkou sytící od tkání málo nebo vůbec se nesytících, tedy odlišit tkáně včasné a dobře perfundované od tkání perfundovaných málo nebo pozdě.

##### **11.4.1. CT v klinice**

CT vyšetření se při diagnostice poranění menisků kolenního kloubu nepoužívá.

## **12. Artroskopie**

Kolenní kloub je nejčastěji artroskopovaným kloubem (viz příloha). Artroskopie byla zpočátku pouhou diagnostickou metodou, avšak s rychlým rozvojem zkušeností a nových instrumentárií se postupně změnila v plnohodnotnou operační metodu se stále se zvětšujícím spektrem výkonů. Zpočátku byly prováděny výkony jednoduché (odstranění volných nitrokloubních tělísek, resekce menisků), později výkony složitější (sutury

menisků, synovektomie), až konečně i složité rekonstrukční operace (rekonstrukce zkřížených vazů).

### **12.1. Technické vybavení**

Artroskopická optika (složitý systém čoček) s různým zorným polem a úhlem pohledu (0°, 30°, 70°) o průměru 4 mm je do kloubu zaváděna pomocí trokaru s tupým obturátorem. Optika je napojena flexibilním světlovodným kabelem na zdroj světla a na malou videokameru, kterou je obraz přenášen na monitor. K náplni kloubu se většinou používají roztoky (izotonické solné roztoky), výjimečně lze použít plyn (CO<sub>2</sub>). Roztok je do kloubu přiváděn sterilní hadicí z plastického vaku přes trokar artroskopu nebo samostatnou přívodnou kanylou. Náplň roztokem umožňuje kloub během artroskopie proplachovat a odstraňovat fragmenty tkání. Dostatečný přívod roztoku do kloubu je zajištěn gravitací (vak s roztokem se zavěsí asi 1,5 m nad pacienta) nebo pumpou, která umožňuje plynulou regulaci tlaku a průtoku roztoku v kloubu.

K diagnostické artroskopii se potřebuje vyšetřovací sonda, nejlépe s kalibrací, která umožní stanovit velikost léze. Nástroje k operační artroskopii se mohou rozdělit do několika skupin: ruční mechanické nástroje (nože, nůžky, drapáky, resekční klíšťky), motorové rotační frézy s různými násadci k resekci měkkých tkání, chrupavky nebo kosti (shaver), elektrochirurgické nástroje (RF) s různými elektrodami k hemokoagulaci, resekci nebo stažení (shrinkage) měkkých tkání a další speciální nástroje (set na šití menisků), které se neustále zdokonalují.

Artroskopie se provádí na operačním sále za přísných aseptických podmínek. Nezbytné jsou nepromokavé operační pláště a nepromokavé rouškování. Anestezie může být celková nebo spinální. Svalová relaxace umožňuje vyšetřit vazivový aparát, usnadňuje manipulaci s kloubem a rozevření jednotlivých kompartmentů, tím snižuje riziko poškození chrupavky. Lokální anestezie se používá jen výjimečně. Rozevření mediálního a laterálního kompartmentu usnadní fixace dolní končetiny asi 20 cm nad

kolenem ve speciálním artroskopickém držáku nebo boční zarážka. Většinou se operuje v bezkreví.

### **12.2. Poloha pacienta**

*Poloha pacienta se svěšeným bérce.* Pacient leží na zádech s koleny při dolním okraji stolu. Operovaná končetina je fixována ve speciálním artroskopickém držáku, který je umístěn asi 20 cm nad kolenem. Bérec je volně svěšen přes okraj stolu. Pevná fixace končetiny v držáku umožňuje ortopedovi tlakem bérce do valgozity nebo varozity lépe rozevřít mediální a laterální kompartment.

### **12.3. Indikace**

Artroskopicky je možno ošetřit skoro všechny nitrokloubní změny v kolenním kloubu. Při artroskopickém postupu je nejdříve ověřena diagnóza a následně je nález ošetřen. V současné době již nelze diagnostickou a operační artroskopii oddělovat. Indikace k čistě diagnostické artroskopii jsou výjimečné.

Indikace k artroskopii na základě symptomů: blokáda kloubů, hemartros, chronická náplň, nejasné bolesti, omezení hybnosti. Na základě zjištěného patologického nálezu je rozhodnuto o další terapii. Vždy se musí zhodnotit, zda artroskopický nález odpovídá obtížím.

Indikace k artroskopii podle diagnózy stanovené na základě klinického, RTG a MR vyšetření: léze menisku, léze chrupavky, recidivující výpotek, omezení pohyblivosti, artrotické změny, symptomatická Bakerova cysta, volná nitrokloubní tělíska, osteochondrální zlomeniny, disekující osteochondróza, luxace pately, syndrom laterální hyperprese pately, syndrom pliky, ruptura PZV, ruptura ZZV, nitrokloubní zlomeniny a nitrokloubní infekce.

#### **12.4. Kontraindikace**

Kontraindikací je špatný celkový stav (hypertenze, dekompenzovaná ischemická choroba srdeční, diabetes mellitus atd.), celkové infekční onemocnění, lokální infekce měkkých tkání, akutní zánět žil, nedostatečné prokrvení dolní končetiny. V těchto případech je nutno artroskopii odložit. Jedinou neodkladnou indikací k artroskopii je nitrokloubní infekce.

### **13. Artroskopie menisků**

Léze menisků patří mezi nejčastější poškození kolena, a proto jsou nejčastější indikací k artroskopii kolena. Rozlišujeme dva základní způsoby artroskopického ošetření menisku. Odstranění poškozené části (resekce, meniskektomie) a rekonstrukce (sutura, refixace) menisku.

#### **13.1. Resekce menisku (meniskektomie)**

Resekce menisku spočívá v odstranění nestabilních odtržených, výrazně degenerativně změněných nebo zjizvených částí menisku, poškozená část menisku se může resekovat v celku nebo po menších částech. Ponechá se zarovnaný stabilní periferní okraj menisku. Při meniskektomii se převážně vystačí s AL (anterolaterální) a AM (anteromediální) přístupem.

V závislosti na velikosti odstraněné části (rozsahu resekce) se rozděluje meniskektomie na parciální, subtotální a totální. Při parciální meniskektomii se odstraní pouze volné, nestabilní fragmenty menisku (ošetření lalokových lézí). Při subtotální meniskektomii zasahuje resekce do periferní části menisku (ošetření komplexních a

degenerativních lézí). Patří sem i kompletní resekce zadního rohu zahrnující periferní okraj menisku. Při totální meniskektomii je odstraněn meniskus celý až k meniskosynoviálnímu úponu.

Funkční část menisku se má zachovat. Resekuje se pouze nezbytná část menisku. Pokud je to možné, dává se přednost parciální meniskektomii před subtotální nebo totální. Intaktní periferní část menisku pomáhá zlepšit stabilitu kloubu a distribuci zátěže. I když funkční výsledky parciální meniskektomie jsou lepší než totální, přesto ani dlouhodobé výsledky parciální meniskektomie nejsou optimální.

### **13.2. Rekonstrukce menisku (*sutura, refixace*)**

K artroskopické sutuře menisků byly nejdříve používány techniky inside-outside. Jehla s vláknem je zavedena nejdříve do kloubu, potom meniskem, přes trhlínu a pouzdro ven z kloubu. Při těchto technikách může dojít k poranění neurovaskulárních struktur, na zevní straně je ohrožen n. peroneus communis a na vnitřní straně n. saphenus. Vzhledem k těmto rizikům byly vyvinuty techniky outside-inside. Jehly jsou zaváděny zvenku z malé kožní incize přes kloubní pouzdro a meniskus do kloubu. Později byla popsána technika all-inside vhodná k sutuře periferních lézí v zadním rohu mediálního nebo laterálního menisku. V poslední době jsou k dispozici různé komerční implantáty umožňující all-inside suturu menisku.

Podmínky úspěšné artroskopické sutury menisku: vhodný výběr pacienta, typu (jednoduchá vertikální podélná trhlina), lokalizace (zevní třetina menisku) a stáří ruptury. Sutura musí být pevná a stabilní.

#### **13.2.1. Obecné zásady operační techniky.**

Hojení podpoří debridement trhliny (odstranění nestabilních částí menisku z kontaktní plochy trhliny), abraze přilehlé synoviální membrány (perimeniskeální synovektomie) a nápichy prokrvené úponové části menisku jehlou (needling). K sutuře používáme

nevstřebatelné (ethibond, dexion, synthofil, síla 2/0) nebo vstřebatelné (PDS, maxon, síla 2/0, 0, 1) šicí materiály. U delších ruptur je vhodné nevstřebatelné a vstřebatelné stehy kombinovat. Ideální vzdálenost mezi stehy je 3 – 5 mm. Čím více centrálně v menisku je ruptura lokalizována, tím je vzdálenost mezi stehy menší. Zlatým standardem je vertikální steh. Umožňuje lepší adaptaci ploch trhliny a je pevnější. Horizontální steh zase umožňuje lepší adaptaci kloubních ploch menisku. Většinou se proto stehy kombinují.

### ***13.2.2. Operační technika inside-outside.***

Vyžaduje speciální instrumentarium. K zavedení dlouhé flexibilní jehly do kloubu se používají speciální jednoduché nebo dvojité kanyly. Umožňují založit vertikální i horizontální stehy s použitím nevstřebatelného i vstřebatelného šicího materiálu. Technika je vhodná k sutuře všech částí menisku. Nejčastěji se používá k sutuře ruptur v zadní části. Umožňuje dobrou repozici nestabilních lézí. Vyžaduje pomocnou posteromediální nebo posterolaterální kožní incizi vzhledem k nebezpečí poranění neurovaskulárních struktur.

### ***13.2.3. Operační technika outside-inside.***

Nevyžaduje speciální instrumentarium. K založení stehu se používají spinální nebo standardní injekční jehly. K sutuře se může použít pouze vhodný šicí materiál, který je možné protáhnout jehlou (např. monofilament PDS). Jsou popsány různé techniky založení stehů (technika dvou jehel, uzlíková technika atd.). Umožňují založit jednoduché, vertikální i horizontální stehy. Technika je vhodná k sutuře střední a přední části menisku. Repozice nestabilních lézí může být obtížnější. Sutura menisku touto technikou je jednoduchá a levná.

#### **13.2.4. Operační technika all-inside.**

Vyžaduje speciální instrumentarium. Je vhodná k suture periferních lézí v zadní části menisku. K založení stehu se používají speciální šicí háčky s různým zahnutím na konci („suture hooks“), které se do kloubu zavádějí z pomocného posteromediálního nebo posterolaterálního přístupu. K suture se může použít pouze vhodný šicí materiál (monofilament PDS). Většinou se používá k založení vertikálního stehu.

#### **13.2.5 Operační technika all-inside s implantáty**

V současné době jsou k dispozici různé komerční implantáty umožňující all-inside suturu menisku. Zavedení implantátů vyžaduje speciální instrumentarium. Implantáty jsou nevstřebatelné (T-fix), vstřebatelné (meniscus arrox, bio-stinger, H-fix) nebo kombinované (FasT-fix). Aplikace implantátů je jednoduchá a rychlá. Implantáty jsou vhodné k suture střední a zadní části menisku. Hlavní nevýhodou je jejich vyšší cena. U delších ruptur se kombinují implantáty se stehy (hybridní techniky).

*Operační postupy.* Nejdříve se systematicky prohlédne celý kolenní kloub. Jestliže se nalezne ruptura menisku, palpací sondou se přesvědčí, zda je vhodná k suture. Operuje se v bezkreví, nejlépe s končetinou fixovanou v držáku, který umožní dostatečné rozevření příslušného kompartmentu.

Při suture vnitřního menisku se zavede artroskop s 30° optikou anterolaterálním přístupem do kloubu. Z anteromediálního přístupu se zavede sonda a upřesní se rozsah a lokalizace léze. Nyní se ošetří místo léze. U starších lézí se šetrně oživí a očistí okraje ruptury, zejména periferní okraj a abraduje se synoviální výstelka v oblasti léze nad a pod meniskem, což podpoří její hojení. Užívá se k tomu speciální malé rašple, klíšťky (punch, basket forceps) nebo shaver. Nástroje se zavádí anteromediálním nebo posteromediálním (zadní roh) přístupem. Nyní se přistoupí k vlastní suture.

*Uzlíková technika* s pomocí jedné jehly spočívá v zavedení jehly s volným vláknem zvenku přes kloubní pouzdro, jehla proniká přes bázi menisku a rupturu do centrální části menisku, z anteromediálního přístupu se zavede do kloubu drapák, kterým se vlákno z kloubu vytáhne. Na konci vlákna se vytvoří větší uzel, který se

tahem za druhý konec vlákna vtáhne zpět do kloubu až dosedne na meniskus. Stejným způsobem se zavede potřebný počet vláken. Vlákná se dotáhnou a vzájemně svážou přes kloubní pouzdro.

Častěji se používá *technika dvou jehel*. Sutura podélné ruptury vnitřního menisku technikou outside-inside. Založení vertikálního stehu technikou dvou jehel: nejdříve se zavede první jehla s vláknem tvořícím smyčku zvenku přes kloubní pouzdro. Jehla proniká přes bázi menisku a rupturu do centrální části menisku. Poté se zavede druhá jehla s volným vláknem přes kloubní pouzdro asi 4 mm od 1. jehly. Z anterolaterálního nebo anteromediálního přístupu se zavede do kloubu jemný drapák. Volné vlákno z druhé jehly se protáhne smyčkou u první jehly, odstraní se jehly, smyčkou zavedenou první jehlou se vytáhne z kloubu volné vlákno zavedené druhou jehlou.

Pooperačně je třeba kloub odlehčovat po dobu 4 až 8 týdnů v závislosti na lokalizaci ruptury a stabilitě sutury. Návrat ke sportovní aktivitě je možný za 3 až 6 měsíců.

### **13.3. Ganglion (cysta) menisku**

Postihuje častěji zevní meniskus a bývá lokalizováno v oblasti střední třetiny menisku. Většinou prominuje z báze menisku do kloubní štěrbiny. Při artroskopii ověříme nejprve stav menisku. Meniskus může být intaktní nebo zcela degenerovaný. Nejčastěji se naleznou lokalizované degenerativní změny. Artroskopické ošetření se skládá z ošetření menisku, drenáže a eventuálně resekce ganglia.

Resekce ganglia s nitrokloubní drenáží. Palpací sondou se upřesní rozsah postižení menisku. Palpuje se i přilehlá část pouzdra. Změněná část menisku se resekuje. Pokud se ganglion vyklenuje do kloubu, punchem nebo shaverem se otevře ganglion do kloubu (perforace z kloubu přes okrajovou lištu menisku). Oblast ganglia se může resekovat shaverem se synoviálním resektorem.

#### **13.4. Diskoidní meniskus**

Postihuje převážně zevní meniskus. Způsob artroskopického ošetření závisí na různých faktorech: typ diskoidního menisku, klinická symptomatika, stáří pacienta, v případě poškození typ a stáří ruptury. Základní způsoby artroskopického ošetření jsou parciální a subtotální resekce (modelace) a sutura (refixace). U mladých pacientů je snaha o zachování funkční části zevního menisku i za cenu atypické refixace. Subtotální zevní meniskektomie vede vždy k časně artróze.

#### **14. Metodika**

Při nejednoznačném klinickém vyšetření kolenního kloubu erudovaným ortopedem a normálním rentgenovým nálezem kolenního kloubu byl pacient odeslán na vyšetření kolenního kloubu metodou SPECT na oddělení nukleární medicíny ve Znojmě s dotazem – vyloučení nebo potvrzení poranění menisků kolenního kloubu.

V Nemocnici Znojmo na oddělení nukleární medicíny bylo pro podezření na poranění menisků vyšetřeno 21 pacientů. 9 žen ve věku 33 – 61 let ( průměrný věk 47 let ) a 12 mužů ve věku 21– 54 let ( průměrný věk 35 let ). Byla provedena třífázová scintigrafie + SPECT kolenních kloubů.

V případě positivity metody SPECT byl pacient hospitalizován a byla mu provedena artroskopie kolenního kloubu.

V případě, že vyšetření SPECT bylo v normě a přes konzervativní terapii potíže pacienta neustaly, byl i tento pacient objednan k artroskopii kolenního kloubu.

Levé koleno bylo operováno v 10 případech a pravé koleno v 11 případech. Bolest byla udávána na mediální straně ve 13 případech, na laterální straně v 5 případech a bolest celého kolena ve 3 případech

Vyšetření probíhala od května 2006 do března 2008. Výsledky metody SPECT a artroskopie jsou seřazeny v tabulce. Možné je porovnání výsledků. Jako pozitivní nález

poranění menisků byly hodnoceny – ruptura menisku a degenerace menisku, faktorem pozitivního nálezu SPECT byla hyperémie.

## **15. Metoda**

### ***Třífázová scintigrafie skeletu, SPECT kolenních kloubů***

Pacientům se aplikovalo radiofarmakum – fosfátové komplexy o aktivitě 740 MBq. Aplikace proběhla pod kamerou. Začínalo snímání – 1. fáze – perfúzní, zobrazovalo se prokrvení sledované části skeletu. Nasnímalo se 60 obrázků po 1 sekundě.

Po této fázi se zachytil přestup radiofarmaka z krevních cest do extracelulárního prostoru měkkých tkání a kostí. Snímalo se po dobu 5 minut. Použila se matice 64 x 64. Tato fáze se označuje jako krevní pool.

Poslední část třífázové scintigrafie byla klasická statická kostní scintigrafie, která se provedla za 2 – 4 hodin po podání radiofarmaka. Kost se snímala v AP a PA projekci. Zde se použila matice 256 x 256.

Po této fázi se provedl SPECT vyšetření kolenních kloubů, použila se matice 128 x 128, kolimátor High Resolution. Nastavilo se 60 kroků po 3°. 1 krok trval přibližně 15 sekund.

### ***Artroskopie***

Artroskopie se provedla na operačním stole za přísných aseptických podmínek. Poloha pacienta během výkonu na zádech, s koleny při dolním okraji stolu nebo s nataženou dolní končetinou.

Pacientům v celkové anestezie za sterilních podmínek se vyšetřila nejdříve stabilita kolenního kloubu, po aseptické přípravě a rouškování, se do postiženého kolena zavedla ze dvou malých řezů sonda s optikou a na obrazovce se prohlédla kloubní dutina. Druhým otvorem se zavedl nástroj (vyšetřovací háček, kleštičky, nůžky, fréza).

V případě nálezu ruptury v menisku, pokud to bylo nutné, pomocí nástrojů postupně odstranila poraněná část menisku tak, aby případný přechod do zbylé zdravé, v kloubu ponechané části byl plynulý – snaha o maximální optimalizaci zátěžových poměrů v operovaném kloubu i po odstranění části menisku.

Pokud to bylo možné, meniskus se zachoval, pomocí speciálních nástrojů a vstřebatelných materiálů se zakládaly stehy do menisku tak, aby se přichytily ke kloubnímu pouzdru. Jen tak, při dobré fixaci se předpokládá hojivé procesy z dobře cévně zásobené tkáně. Použily se vstřebatelné stehy (PDS).

## 16. Výsledky

**Tab.1 Přehled vyšetřených pacientů + výsledky vyšetření**

| Pohlaví, věk | Úraz v anamnéze | SPECT                                                           | Artroskopie                                                              |
|--------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| žena, 33     | úraz            | levé koleno –<br>pravděpodobný nález<br>postižení med. menisku  | levé koleno -<br>med. meniskus – ruptura                                 |
| žena, 35     | úraz            | levé koleno-<br>pravděpodobný nález<br>postižení lat. menisku   | levé koleno-<br>lat. meniskus – ruptura                                  |
| žena, 46     | úraz            | levé koleno –<br>nález nesvědčí pro<br>postižení menisků        | levé koleno -<br>menisky bez patologie                                   |
| žena, 46     | bez úrazu       | levé koleno –<br>pravděpodobný nález<br>postižení med. menisku  | levé koleno -<br>menisky bez patologie                                   |
| žena, 46     | bez úrazu       | pravé koleno –<br>pravděpodobný nález<br>postižení med. menisku | pravé koleno -<br>degenerace menisku                                     |
| žena, 51     | bez úrazu       | levé koleno-<br>pravděpodobný nález<br>postižení lat. menisku   | levé koleno -<br>lat. meniskus – ruptura                                 |
| žena, 51     | úraz            | pravé koleno –<br>pravděpodobný nález<br>postižení med. menisku | pravé koleno -<br>degenerace med. menisku<br>s rupturou                  |
| žena, 53     | bez úrazu       | pravé koleno –<br>pravděpodobný nález<br>postižení med. menisku | pravé koleno -<br>med. meniskus – ruptura                                |
| žena, 61     | úraz            | pravé koleno –<br>pravděpodobný nález<br>postižení med. menisku | pravé koleno -<br>med. meniskus –<br>degenerace, jinak meniskus<br>pevný |

**Tab.2 Přehled vyšetřených pacientů**

| Pohlaví, věk | Úraz v anamnéze | SPECT                                                           | Artroskopie                               |
|--------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| muž, 21      | úraz            | pravé koleno -<br>pravděpodobný nález<br>postižení med. menisku | pravé koleno –<br>med. meniskus - ruptura |
| muž, 25      | bez úrazu       | pravé koleno –<br>nález nesvědčí pro<br>postižení menisků       | pravé koleno -<br>menisky bez patologie   |
| muž, 28      | bez úrazu       | pravé koleno -<br>pravděpodobný nález<br>postižení lat. menisku | pravé koleno -<br>menisky bez patologie   |
| muž, 30      | úraz            | levé koleno –<br>nález nesvědčí pro<br>postižení menisků        | levé koleno -<br>menisky bez patologie    |
| muž, 33      | úraz            | levé koleno-<br>pravděpodobný nález<br>lat. menisku             | levé koleno –<br>lat. meniskus – ruptura  |
| muž, 34      | bez úrazu       | pravé koleno –<br>pravděpodobný nález<br>med. menisku           | pravé koleno –<br>med. meniskus – ruptura |
| muž, 34      | bez úrazu       | levé koleno –<br>pravděpodobný nález<br>med. menisku            | levé koleno-<br>med. meniskus – ruptura   |
| muž, 35      | úraz            | pravé koleno –<br>nález nesvědčí pro<br>postižení menisků       | pravé koleno<br>med. meniskus – ruptura   |
| muž, 36      | úraz            | pravé koleno –<br>pravděpodobný nález<br>med. menisku           | pravé koleno –<br>med. meniskus – ruptura |
| muž, 40      | úraz            | levé koleno –<br>pravděpodobný nález<br>postižení med. menisku  | levé koleno -<br>med. meniskus – ruptura  |
| muž, 50      | bez úrazu       | levé koleno –<br>pravděpodobný nález<br>postižení lat. menisku  | levé koleno -<br>menisky bez patologie    |
| muž, 54      | bez úrazu       | pravé koleno –<br>pravděpodobný nález<br>postižení med. menisku | pravé koleno -<br>med. meniskus – ruptura |

**Tab.3 Diagnostická schopnost SPECT při detekci poranění menisků**

|                               | Hodnocení<br>(%) |
|-------------------------------|------------------|
| Senzitivita                   | 93               |
| Specifická                    | 50               |
| Negativní prediktivní hodnota | 75               |
| Pozitivní prediktivní hodnota | 82               |

Senzitivita (pravděpodobnost odhalení nemoci u nemocných).

Specifická (pravděpodobnost, že je test negativní u osob bez poranění menisku).

Negativní prediktivní hodnota (pravděpodobnost, že je osoba opravdu zdravá, byla-li testem jako zdravá označena).

Pozitivní prediktivní hodnota (pravděpodobnost, že je osoba opravdu nemocná, když byla diagnostikována pozitivně).

**Tab. 4 Počet pacientů a odhalení poranění menisků při SPECT a artroskopii**

| Pacienti<br>(n) | SPECT | Artroskopie |
|-----------------|-------|-------------|
| 14              | +     | +           |
| 3               | -     | -           |
| 3               | +     | -           |
| 1               | -     | +           |

(+ = odhalení poranění menisků)

## 17. Diskuze

Pro porovnání naší studie jsem vyhledala dosud jediné dvě zahraniční práce, které se zabývaly podobným tématem.

### *Studie č. 1*

100 pacientů ve věkové skupině 20 – 65 let bylo pro bolest kolena vyšetřeno nejdříve klinicky a poté následovalo vyšetření MRI a SPECT. Všichni pacienti pak podstoupili artroskopii postiženého kolena.

Artroskopie byla provedena během dvou měsíců od prvního klinického vyšetření. Vyšetření byla provedena na oddělení radiologie a ortopedie Alexandra Hospital, Walderslade, Kent, a Medway Hospital, Gillingham, Kent, United Kingdom. Studii publikovali Ryan PJ, Reddy K, Fleetcroft J, v roce 1998.

**Tab. 5 Porovnání diagnostické schopnosti MRI a SPECT při detekci natržení menisků**

|                                  | Klinická vyšetření<br>(%) | MRI<br>(%) | SPECT<br>(%) |
|----------------------------------|---------------------------|------------|--------------|
| Senzitivita                      | 77                        | 80         | 84           |
| Specifická                       | 67                        | 71         | 80           |
| Negativní<br>prediktivní hodnota | 68                        | 71         | 76           |
| Pozitivní prediktivní<br>hodnota | 76                        | 84         | 88           |

**Tab. 6 Počet pacientů a odhalení natržení menisků při artroskopii, MRI a SPECT**

| Pacienti<br>(n) | MRI | SPECT | Artroskopie |
|-----------------|-----|-------|-------------|
| 42              | +   | +     | +           |
| 5               | +   | -     | +           |
| 8               | -   | +     | +           |
| 3               | -   | -     | +           |
| 25              | -   | -     | -           |
| 6               | +   | +     | -           |
| 6               | +   | -     | -           |
| 5               | -   | +     | -           |

(+ = odhalení natržení menisku)

## **Studie č. 2**

60 pacientů bylo předoperačně vyšetřeno planární scintigrafií a následoval SPECT. Pacienti se po tomto vyšetření podrobili artroskopii postiženého kolena.

Studii publikovali Grevitt MP, Taylor M, Allen P, Ryan PJ, Fogelman I, v roce 1993.

Výsledky vyšetření pocházely z oddělení ortopedie Guy's Hospital, London, UK

**Tab.7 Diagnostická schopnost SPECT při detekci natržení menisků**

|                               | SPECT vyšetření<br>(%) |
|-------------------------------|------------------------|
| Senzitivita                   | 77                     |
| Specifická                    | 74                     |
| Negativní prediktivní hodnota | 65                     |
| Pozitivní prediktivní hodnota | 83                     |

Doplněním dalšího kritéria – zadní části chrupavky pod meniskem, které byly sdruženy s intenzivní místní absorbcí na transaxiálním pohledu jako zvyšující se rovnováha aktivity v přilehlém kondylu femuru.

Po doplnění tohoto kritéria byl vyhodnocen SPECT následovně:

**Tab.8 Diagnostická schopnost SPECT**

|                               | SPECT vyšetření<br>(%) |
|-------------------------------|------------------------|
| Senzitivita                   | 90                     |
| Specifická                    | 74                     |
| Negativní prediktivní hodnota | 81                     |
| Pozitivní prediktivní hodnota | 83                     |

Senzitivita naší studie byla 93 %, ve studii č. 1 byla nižší a to 84 %, ve studii č.2 byla nejdříve 77 %, po doplnění dalšího kritéria se zvýšila na 90 %.

Senzitivita naší studie byla nejvyšší.

Specifická naší studie byla 50 %, ve studii č. 1 byla vyšší 80 %, ve studii č. 2 byla 74 %. Naše studie měla nejnižší specificku.

Pozitivní prediktivní hodnota v naší studii byla 82 %, ve studii č.1 byla vyšší 88 %, ve studii č.2 byla 83 %. Výsledky studií jsou podobné.

Negativní prediktivní hodnota v naší studii byla 75 %, ve studii č. 1 byla 76 %, ve studii č. 2 byla nejdříve 65 %, po doplnění dalšího kritéria se zvýšila na 81 %.

Pokud má pacient poraněný meniskus, je málo pravděpodobné, že by měl negativní SPECT.

Pokud má pacient negativní SPECT, je málo pravděpodobné, že by měl poraněný meniskus.

Nízká specifická je obecně problémem většiny scintigrafických vyšetření. V tomto případě je dána tím, že značná část pacientů s pozitivním SPECT nemá poraněný

meniskus, ale má například artrotické změny – SPECT je to v případě pozitivní, spolehlivé odlišení poškození menisku od artrotických změn však neumožní. (U tohoto konkrétního vyšetření může specifická výrazně kolísat podle vzorku vyšetřovaných pacientů – bude vyšší u mladých bez anamnézy starších úrazů či přetěžování kolen, naopak specifická bude nižší u starší populace, u aktivních sportovců, kteří nadměrně kolena zatěžují, vystavují je drobným traumatům).

Nízká pozitivní prediktivní hodnota souvisí do značné míry s předchozím odstavcem.

Porovnáním uvedených studií je zřejmé, že naše studie obsahuje menší počet sledovaných osob. Studie proto bude dále rozvíjena, obecně menší statistický soubor (nižší počet pacientů), má větší riziko vzniku statistické chyby, to se také mohlo projevit na námi určené specifitě.

## **18. Závěr**

Bakalářská práce prezentuje výsledky vyšetření SPECT při diagnostice poranění menisků kolenního kloubu. Dle našich výsledků artroskopické vyšetření kolenního kloubu má vyšší diagnostickou výtežnost než vyšetření SPECT kolenního kloubu. Námi stanovená hypotéza nebyla potvrzena. Potvrdili jsme však, že vyšetření SPECT je vysoce spolehlivé při diagnostice poranění menisků.

Dle výsledků studie vyplývá, že SPECT je před artroskopií smysluplná, může zásadně zlepšit diagnostiku poranění menisků kolenního kloubu. Přináší ortopedovi cennou diagnostickou informaci.

SPECT vyšetření má vysokou senzitivitu, kostní scan má však nízkou specifitu.

SPECT doplňuje předchozí třífázovou scintigrafii, zvyšuje kvalitu posouzení distribuce v zájmové oblasti zavedením trojrozměrného zobrazení s vyšším hloubkovým rozlišením rozložení radioaktivity. SPECT je v dnešní době nejužívanější způsob tomografického zobrazení nukleární medicíny. Využívá již aplikovaného radiofarmaka

a tím i jedné radiační zátěže pacienta. Další výhodou je finanční nenáročnost. Nezanedbatelná výhoda SPECT je jeho jednoduchost.

SPECT není však určen pro zobrazování anatomie. To by bylo možné pomocí hybridního systému SPECT/CT. Jedná se o kombinaci tomografického zobrazení rentgenovým zářením (CT) a nukleárně medicínského tomografického zobrazení (SPECT).

Výhody SPECT převyšují nad nevýhodami. Tato metoda by měla být rutinně používána při diagnostice poranění menisků kolenního kloubu.

Závěrem bych ráda podotkla, že nukleární medicína je dynamicky se rozvíjející obor, který nachází uplatnění i v diagnostice řady dalších onemocnění.

## **19. Klíčová slova**

kolenní kloub, poranění menisku, natržení menisku, scintigrafie, SPECT, artroskopie

## ***Key words***

knee joint, injury, imaging method, scintigraphy, endoscopic technique

## 20. Seznam použité literatury

Dungl, P., *Ortopedie*. Praha: Grada, 2005. 1280 s. ISBN 80-247-0550-8

Grevitt, M., Taylor, M., "et al.". *SPECT imaging in the diagnosis of meniscal tears* (online) Platný <http://www.medline.cz>, February 24, 2008

Kalandra, S., Nestrožil, "et al.". *Poranění menisku* (online) Platný [http://www.sanquis.cz/clanek.php?id\\_clanek=219](http://www.sanquis.cz/clanek.php?id_clanek=219), April 1, 2008

Ostrý, D. *Poranění menisku*. (online) Platný [http://www.dostry.cz/podrobne/potize\\_poraneni\\_meniskus.htm](http://www.dostry.cz/podrobne/potize_poraneni_meniskus.htm), February 24, 2008

Procházka, P. *Poranění menisku* (online) Platný <http://www.ortopedie.estranky.cz/clanky/odborne-texty/poraneni-menisku>, April 1, 2008

Ryan, P.J., Reddy, K., Flletcroft, J: A Prospective Comparison of Clinical Examination MRI, Bone SPECT, and Arthroscopy to Detect Meniscal Tears, *Clinical Nuclear Medicine*, Lippincott: 1998, Number 12, pp 803-806

Trnavský, K., Rybka V. *Syndrom bolestivého kolena*. Praha: Galen, 2006. 225 s. ISBN 80-7262-391-5

Ullmann, V. *Scintigrafie* (online) Platný <http://astronuklfyzika.cz/scintigrafie.htm>, April 1, 2008

Urbánek, J. *Nukleární medicína*. Jilemnice: Gentiana, 2000. 146 s. ISBN 80-902-133-9

## Obrázky v příloze:

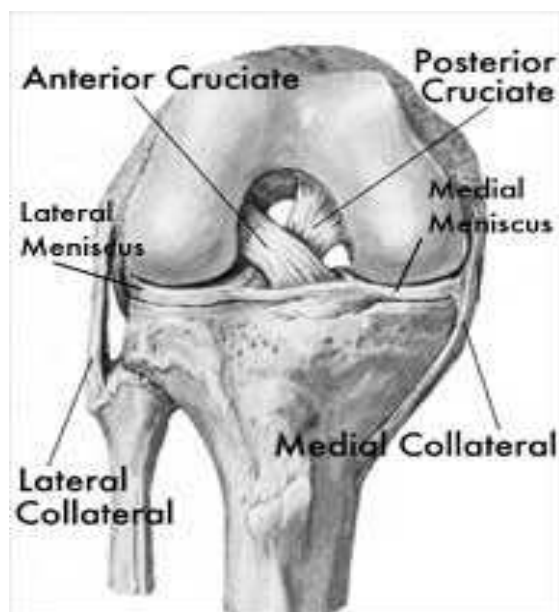
*Arthroscopic Surgery* (online) Platný <http://oralchelation.com/calcium/DegenerativeKneeJoint/p7.htm>, April 2, 2008

*Artrioskopie* (online) Platný <http://www.ordinace.cz/clanek/artroskopia>, April 2, 2008

*The meniscus* (online) Platný <http://www.orthoassociates.com/meniscus.htm>, April 2, 2008

## **21. Příloha**

## Anatomie kolenního kloubu



## RTG snímek



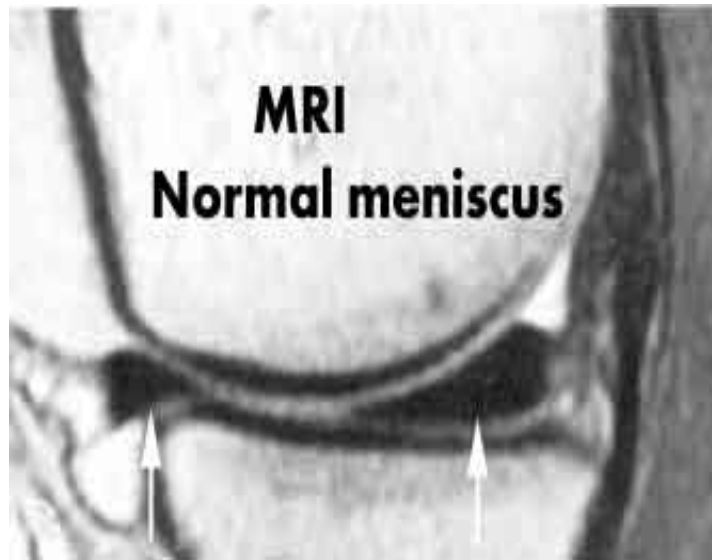
Prostý rtg snímek kolenní kloubu – předozadní projekce

## **RTG snímek**



Prostý rtg snímek kolenního kloubu – bočná projekce

## Magnetická rezonance



normální meniskus

## Magnetická rezonance

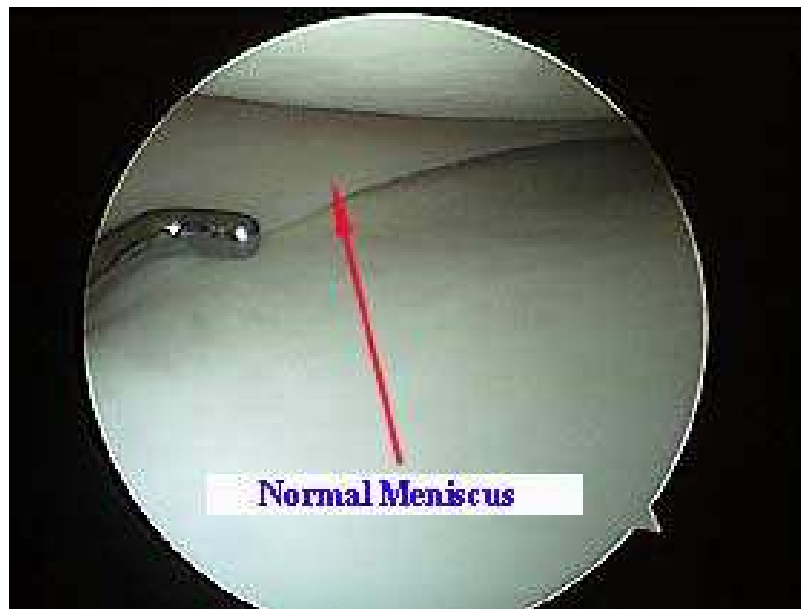


natržení menisku

## **Artroskopie kolena**

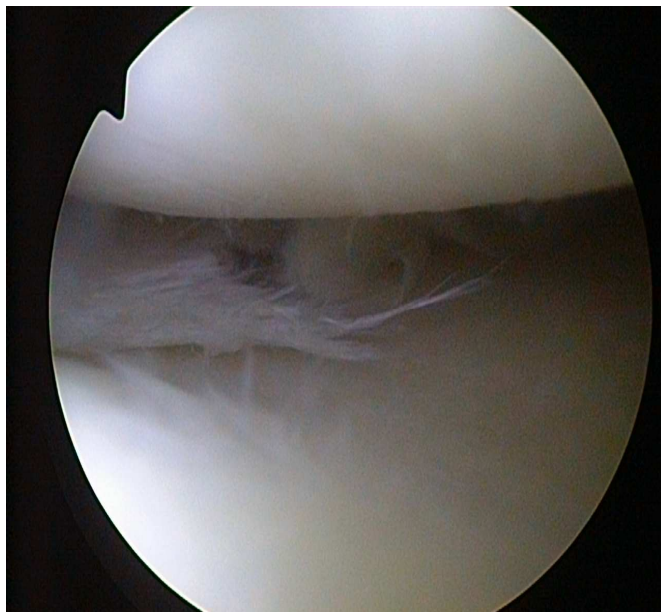


## Artroskopie



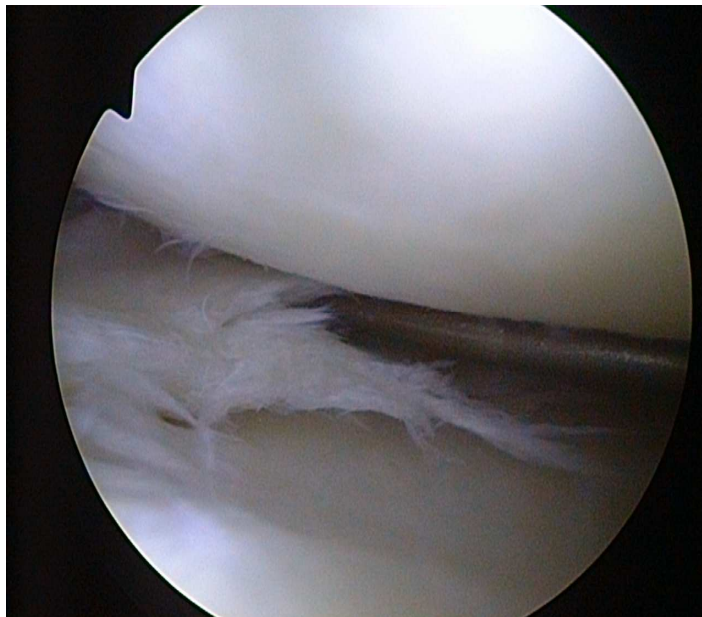
normální meniskus

## **Artroskopie**



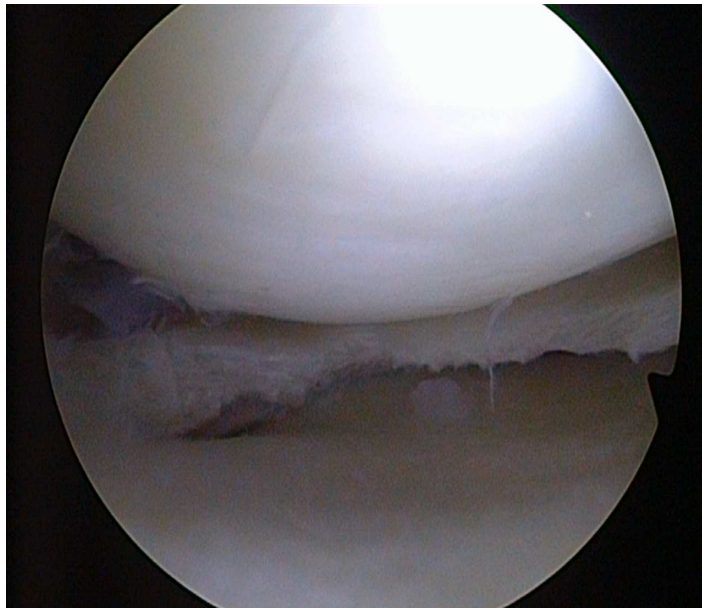
mediální meniskus - ruptura + degenerace

## Artroskopie



mediální meniskus - zahlazování shaverem

## Artroskopie



mediální meniskus - po zahlázení shaverem

