



Možnosti využití radiofrekvenčního záření do 800 MHz v terapii a diagnostice

Bakalářská práce

Studijní program: B3944 – Biomedicínská technika
Studijní obor: 3901R032 – Biomedicínská technika
Autor práce: **Son Hoang Anh**
Vedoucí práce: prof. Ing. Aleš Richter, CSc.





Possibilities of using radiofrequency up to 800 MHz in therapy and diagnosis

Bachelor thesis

Study programme: B3944 – Biomedical Technology
Study branch: 3901R032 – Biomedical Technology

Author: **Son Hoang Anh**
Supervisor: prof. Ing. Aleš Richter, CSc.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Son Hoang Anh**
Osobní číslo: **D17000140**
Studijní program: **B3944 Biomedicínská technika**
Studijní obor: **Biomedicínská technika**
Název tématu: **Možnosti využití radiofrekvenčního záření do 800 MHz v terapii a diagnostice**
Zadávací katedra: **Fakulta zdravotnických studií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cíle práce:

Cílem práce je ověření a zhodnocení účinnosti a bezpečnosti radiofrekvenční techniky do 800 MHz v terapii a diagnostice. Dále se v práci bude posuzovat výhody a nevýhody jednotlivých radiofrekvenčních metod. Tato práce je rozdělena do dvou částí. První část je teoretická, která zachycuje podstatu RF záření a jejich využití v terapii a diagnostice. Druhá experimentální část je aplikace RF energie jako zdroj energie pro lokální ohřev na fantomů tkáně. Použití fantomů pro simulaci dielektrických vlastností lidské tkáně, sledování spektrální změny během zahřívání a odhadnout prahové teploty pro zahájení tepelné koagulace.

Teoretická východiska (včetně výstupu z kvalifikační práce):

Radiofrekvenční (RF) ablace je široce používáný, minimálně invazivní postup pro léčbu křečových žil a nádorových onemocnění jater, ledvin, kostí, atd. V rámci této metody se využívá střídavý proud k ohřevu nádorových tkání až do vysokých teplot. Výsledkem je koagulační nekróza a úplná destrukce tkáně v dané vzdálenosti od příslušné elektrody. Cílem je podat ucelený přehled a některé technické parametry klinicky schválených a ověřených metod.

Výzkumné předpoklady:

V souvislosti s hlavním cílem byly stanoveny následující výzkumné předpoklady:

- V1. Zhodnocení účinnosti a bezpečnosti radiofrekvenční techniky na živých organismů.
- V2. Podstata radiofrekvenčního záření a jejich využití v terapii a diagnostice.
- V3. Experimentální hodnocení vlivů radiofrekvenčního záření do 800 MHz na fantomů tkání.
- V4. Stanovení dielektrických vlastností lidské tkáně v dané frekvenční oblasti.

Metoda:

Experimentální šetření bude realizováno na fantomech tkáně s následným působením radiofrekvenčního záření.

Technika práce, vyhodnocení dat:

Rešerše, teoretické výpočty a modely.

Místo a čas realizace výzkumu:

Laboratoře TUL

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **50 - 70**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury: **viz příloha**

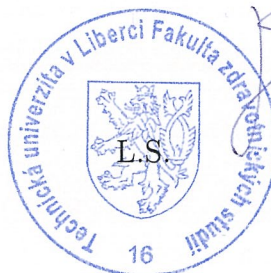
Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Aleš Richter, CSc.

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání bakalářské práce: **9. listopadu 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30. dubna 2018**




prof. MUDr. Karel Cvachovec, CSc., MBA
děkan

V Liberci dne 30. listopadu 2017

Příloha zadání bakalářské práce

Seznam odborné literatury:

- MAYER, Daniel. Aplikovaný elektromagnetismus: Úvod do makroskopické teorie elektromagnetického pole pro elektrotechnické inženýry. 2. vyd. České Budějovice: Kopp, 2012. ISBN 978-80-7232-436-1.
- PÁČ, Libor. Anatomie člověka. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2010. ISBN 978-80-210-4291-9.
- SKALICKÝ, Tomáš a Vladislav TŘEŠKA. Radiofrekvenční ablace jaterních nádorů. Praha: Maxdorf, 2006. Jessenius. ISBN 80-7345-063-1.
- NAŇKA, Ondřej a Miloslava ELIŠKOVÁ. Přehled anatomie. 3., doplněné a přepracované vydání. Praha: Galén, 2015. ISBN 978-80-7492-206-0.
- WILHELM, Zdeněk. Stručný přehled fyziologie člověka pro bakalářské studijní programy. 4. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2010. ISBN 978-80-210-5283-3.
- ČIHÁK, Radomír. Anatomie 2. 3., upravené a doplněné vydání Praha: Grada Publishing, 2013. ISBN 978-80-247-4788-0.
- HEŘMAN, Miroslav. Základy radiologie. V Olomouci: Univerzita Palackého, 2014. ISBN 978-80-244-2901-4.
- NEKULA, Josef. Klinická radiologie: V Ostravě: Ostravská univerzita v Ostravě, 2014. ISBN 978-80-7464-564-8.
- VOMÁČKA, Jaroslav, Josef NEKULA a Jiří KOZÁK. Zobrazovací metody pro radiologické asistenty. V Olomouci: Univerzita Palackého, 2012. ISBN 978-802-4431-260.
- LIANG Ping, YU Xiao-ling, YU Jie. Microwave Ablation Treatment of Solid Tumors. Springer, 2014. ISBN 978-94-017-9315-5.
- HRAZDIRA, Ivo a Vojtěch MORNSTEIN. Lékařská biofyzika a přístrojová technika. Brno: Neptun, 2004. ISBN 80-902896-1-4.
- STAFFA, Erik. Měření parametrů magnetického pole vyzařovaného zdravotnickými přístroji. Brno, 2010. Diplomová práce. Masarykova univerzita.
- GABRHELÍK, T.: Pulzní radiofrekvenční terapie radikulární bolesti [online]. [cit. 6. 11. 2017]. Dostupné zde:
http://www.prolekare.cz/pdf?ida=nn_07_05_09.pdf
- GABRHELÍK, T.: Radiofrekvenční léčba bolesti [online]. [cit. 6. 11. 2017]. Dostupné zde:
<http://g6.iscontent.cz/Public/Csarim2009/%20PDF%20prezentace/CSARIM2009-Gabrhelik.pdf>

Student
Son Hoang Anh
D17000140
Náchodská 342
541 01 Trutnov

Vyřizuje / linka: Karin Švitorková/ 485 353 762

V Liberci 8. 11. 2017
Čj.: 17/8515/045056

Vyjádření k žádosti o ponechání tématu a prodloužení termínu odevzdání bakalářské práce

Vážený studente,

na základě Vaší žádosti ze dne 30. 10. 2017, zaevidované pod čj.: 17/8515/045056, Vám sděluji, že **souhlasím** s ponecháním tématu bakalářské práce „Možnosti využití radiofrekvenčního záření do 800 MHz v terapii a diagnostice“ pod novým osobním číslem a prodloužením termínu odevzdání do 30. 4. 2018.

S pozdravem



prof. MUDr. Karel Cvachovec, CSc., MBA
děkan

Technická univerzita v Liberci
Fakulta zdravotnických studií
Studentská 2, 461 17 Liberec 1

- 8 - 11 - 2017



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.


Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 3.7.2018

Podpis: 

Anotace

Tato bakalářská práce pojednává o možnostech využití radiofrekvenčního záření v terapii a diagnostice, implementace RF ablace a souhrn základních teoretických výpočtů a vzorců užívané pro radiofrekvenční ablaci. Teoretická část je zaměřena na zhodnocení účinnosti a bezpečnosti radiofrekvenční techniky v terapii a diagnostice. Dále se v práci bude posuzovat výhody a nevýhody jednotlivých radiofrekvenčních metod. Praktická část se bude skládat z obecných informací o RFA metodě, teoretických výpočtů a porovnání dielektrické vlastnosti jednotlivých tkání.

Klíčová slova: Radiofrekvenční záření, radiofrekvenční technika, radiofrekvenční ablace, elektrody, dielektrické vlastnosti, elektrická vodivost

Annotation

The thesis deals with the possibilities of using radiofrequency radiation in therapy and diagnostics, the implementation of RF ablation and a summary of basic theoretical calculations and formulas used for radiofrequency ablation. The theoretical part is focused on evaluation of the efficiency and safety of radiofrequency technology in therapy and diagnostics. In addition, the advantages and disadvantages of individual radiofrequency methods will be examined. Practical part will consist of general information about RFA method, theoretical calculations and comparison of the dielectric properties of individual tissues.

Keywords: Electromagnetic radiation, radiofrequency techniques, radiofrequency ablation, electrodes, dielectric properties, electric conductivity

Poděkování

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování prof. Ing. Aleši Richterovi, CSc. za jeho cenné rady a trpělivost při vedení mé bakalářské práce. Rovněž bych chtěl poděkovat svým rodičům za podporu během celé doby mého studia.

Obsah

Seznam použitých symbolů.....	10
Seznam použitých zkratek	11
Úvod	12
1. Teoretická část.....	13
1.1 Představení radiofrekvenčního záření.....	13
1.2 Vliv a bezpečnosti radiofrekvenčního záření na lidský organismus.....	17
2. Radiofrekvenční techniky a jejich využití v terapii a diagnostice.....	19
2.1 Radiofrekvenční ablace.....	19
2.2 Léčba srdeční arytmie.....	20
2.2.1 O ablaci při srdeční arytmii	20
2.2.2 Generátor RF energie	23
2.2.3 Využívané druhy katetrů	24
2.3 Léčba jaterních nádorů	27
2.3.1 O ablaci při léčbě jaterních nádorů.....	27
2.3.2 Využívané druhy sond a RF generátorů	30
2.4 Léčba křečových žil.....	32
2.4.1 O ablaci při léčbě varixů.....	32
2.4.2 Využívané druhy katetrů při léčbě varixů	34
2.5 Další využití RF	35
3. Praktická část.....	36
3.1 Obecný úvod do užití radiofrekvenční ablace	37
3.1.1 Příklady praktického využití RF ablace v České republice	38
3.1.2 Výhody a nevýhody radiofrekvenční ablace	39
3.2 Technicko-teoretický úvod do RF ablace.....	40
3.2.1 Základní teoretické výpočty a vzorce užívané v RF ablaci	42
3.3 Principy přenosu tepla a RF ohřevu tkání.....	45
3.3.1 Elektrické vlastnosti RF ablace, elektrická implementace RF ablace	46
3.4 Elektrická vodivost tkání.....	47
3.4.1 Omezení RF ablace při léčbě tumoru jater	49
3.4.2 Nekróza tkání z technického hlediska RF ablace a užití sondy	49
3.5 Bezpečnost RF ablace.....	50
4. Citlivost tkání na radiofrekvenční ablaci a jednotlivé jaterní nádory	51
4.1 Nejčastější nádory jater	51

4.1.1	Základní úvod do léčby tumorů RF ablací	53
4.1.2	Citlivost tkání a orgánů na elektrický proud a teplo (dielektrické vlastnosti tkání)	53
	Závěr.....	59
	Seznam tabulek a grafů.....	60
	Seznam obrázků.....	61
	Seznam použité literatury a dalších zdrojů.....	62

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotka	Význam symbolu a jednotky
U	[V]	Elektrické napětí [volt]
I	[A]	Elektrický proud [ampér]
B	[T]	Magnetická indukce [tesla]
E	[V/m]	Elektrická intenzita [volt/metr]
J	[A/m ²]	Proudová hustota [ampér/metr čtvereční]
H	[A/m]	Magnetická intenzita
Q	[J]	Joulovo teplo [joule]
q	[W/m ²]	Hustota tepelného toku [watt/metr čtvereční]
λ	[m]	Vlnová délka [metr]
σ	[S/m]	Měrná elektrická vodivost [siemens/metr]
ε	[F/m]	Permitivita [farad/metr]
μ	[H/m]	Permeabilita [henry/metr]
t	[s]	Čas [sekunda]
f	[Hz]	Frekvence [hertz]
°C		Celsiův stupeň
K		Kelvin
%		Procento

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
EMR	Elektromagnetické záření
RF	Radiofrekvenční záření
IARC	Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny
WHO	Světové zdravotnické organizace
MRI	Magnetická rezonance
RTG	Rentgen
RFA	Radiofrekvenční ablace
CT	Počítačová tomografie
DIP	Disposable Indifferent Patch
RFITT	Bipolar radiofrequency-induced thermotherapy
SAR	Specifická jednotka absorpce
HCC	Hepatocelulární karcinom
CCC	Cholangiocelulární karcinom
CaP	Karcinomu pankreatu
KRCa	Kolorektálního karcinomu
Kč	Česká koruna

Úvod

Tato práce se bude zabývat možnostmi využití radiofrekvenčního záření do 800 MHz v terapii a diagnostice. Základy radiofrekvenčního záření jsou spojeny s elektromagnetickou energií. Elektromagnetickou energii člověk využívá v řadě oborů, například v oblastech výroby, zemědělství či dopravy. Se vzrušující vývojem v lékařském výzkumu se radiofrekvenčního záření do 800 MHz začaly stále častěji uplatňovat i na bázi diagnostické a terapeutického. Jaké jsou však dopady radiofrekvenčního záření na lidské zdraví a lze je využít pozitivně? Řada lidí se naopak obává zdravotních rizik souvisejících s využíváním vymožeností moderní doby, jako jsou mikrovlnky či mobilní telefony. Mnohdy je slyšet to, že tyto přístroje jsou spojeny s rakovinou. Mikrovlny je často označovány jako nebezpečné zdroje radiofrekvenčního záření. V této souvislosti je nutné si uvědomit, že radiofrekvenčního záření má, nejen vůči lidskému tělu, schopnost vytvářet teplo, stejně tak v mikrovlnné troubě dokáže ohrát jídlo. Potencionální nebezpečnost tohoto druhu záření souvisí zejména s délkou a intenzitou expozice, po kterou mu člověk vystaven, jinak by nebylo v zásadě možné, aby se radiofrekvenční záření v oblasti medicíny používalo již několik desetiletí. Aplikace radiofrekvenčního záření na člověka má za následek odumření tkáně, a právě pokud je zvoleno správné místo aplikace, intenzita a délka působení, může být toto záření i žádoucím. Lze hovořit zejména o tzv. radiofrekvenční ablacii, které představuje postup pro léčbu křečových žil, onemocnění jater, kostí, ledvin či nádorů. Jedná se o minimálně invazivní metodu, kdy se využívá sondy (elektrody), která je umístěná přímo do poškozené tkáně a pomocí střídavého proudu je zničena lidská tkáň, která je nežádoucí (např. nádor). Rozpad nežádoucí tkáně probíhá na bázi jejího zahřátí na vysoké teploty. Výsledek představuje koagulační nekróza, kdy dochází k rozpadu tkáně v příslušné lokalitě.

1. Teoretická část

Tato část práce bude pojednávat o radiofrekvenčním záření, jeho charakteru a jeho vlivu na člověka.

1.1 Představení radiofrekvenčního záření

Radiofrekvenční záření (RF) má přímou souvislost s elektromagnetickým zářením (EMR). EMR se dá považovat za základní formu energie, která představuje příčné postupné vlnění elektromagnetického pole. Kterýkoliv elektrický náboj, který se pohybuje s nenulovým zrychlením, vyzařuje EMR. EMR se šíří rychlostí asi 300 000 km za sekundu. Toto záření je složeno z dvou složek elektrické energie a magnetické energie, tyto složky tvoří neoddělitelnou součást záření. Vlastnosti tohoto záření se mění na základě změny vlnové délky (λ) a kmitočtu (Hz).¹ Na rozdíl od ionizujícího záření (např. RTG nebo Gama záření), která má vliv na chemické složení buněk a mění jejich genetický kód, je radiofrekvenční záření neionizující. RF energie tedy není dostatečně silný pro ionizaci atomů a molekul v buňkách, nebo ke změně jejich genetické výbavy. Využití RF energie je bezpečnější než mnoho jiných terapií, protože je energie absorbováno živou tkání jako prostý teplo. Bez ohledu na zdroj tepla, buňky umírají když dosáhnou určité teploty.²

EMR lze charakterizovat podle následujících parametrů: vlnová délka – jednotkou je metru (m), nejčastěji se udává ve zlomcích metru, v mikrometrech (μm) a nanometrech (nm);

- energie – většinou se udává v joulech;
- výkon – udává se ve wattech (W) a představuje energii, která je vztažená na jednotku času;

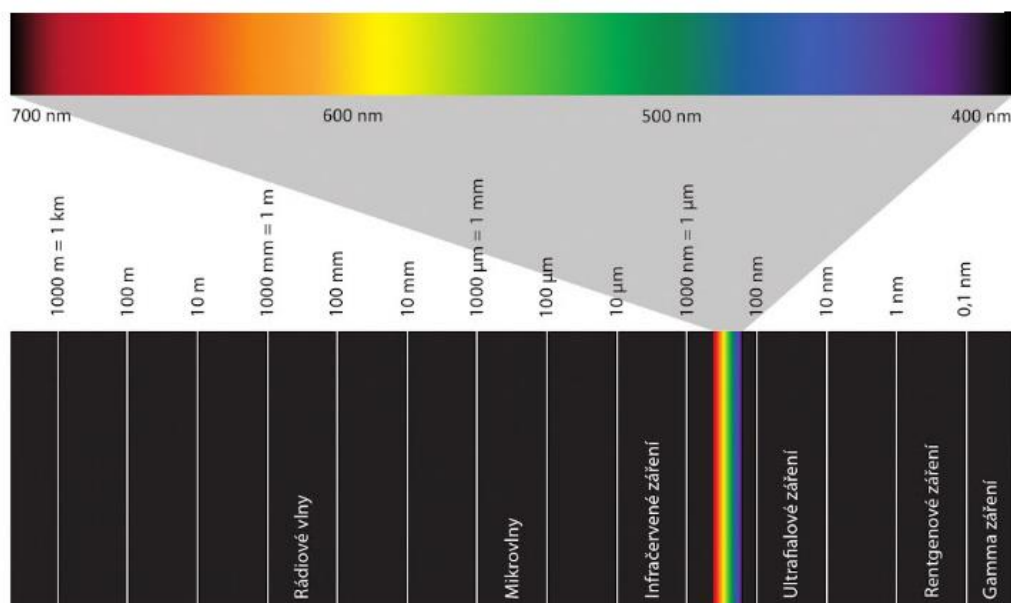
¹ DANNHOFEROVÁ, Jana. Velká kniha barev: kompletní průvodce pro grafiky, fotografy a designéry. Brno: Computer Press, 2012. ISBN 978-80-251-3785-7, s. 15

² A.OKHAI Timothy, J.SMITH Cedric. Principles and Application of RF System for Hyperthermia Therapy [online] 2013, [cit. 22.3.2017], Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/hyperthermia/principles-and-application-of-rf-system-for-hyperthermia-therapy>

- dávka – zpravidla se udává v J/m^2 nebo v J/m^2 a představuje množství energie, které bylo dodáno na jednotku plochy;
- expozice – zpravidla se udává W/cm^2 a představuje výkon dodaný na jednotku plochy;
- délka pulzu – představuje dobu, po kterou je záření subjekt vystaven;
- hustota dodané energie – je dána expozicí a dobou vystavení záření.

Stejně tak je možné EMR členit podle různých kritérií, nejčastěji se z hlediska dělení přistupuje k danému členění podle vlnové délky, frekvence, účinku či zdrojů záření. Z hlediska vlnové délky (podle vlnových délek při šíření ve vakuu) lze hovořit tzv. spektru elektromagnetického záření. V tomto spektru lze rozlišit různé druhy elektromagnetického záření, jako jsou radiové vlny, mikrovlny, infračervené nebo ultrazvukové záření, dále i rentgenové záření a gama záření. Spektrum ilustruje obrázek 1.

Obrázek 1 Elektromagnetické spektrum



Zdroj: DANNHOFFEROVÁ, 2012, str. 15

Jak je z daného obrázku patrné, v rámci vlnové délky elektromagnetického spektra lze rozdělit EMR na následující typy záření:

- radiové vlny ($\lambda = 10^3 - 10^{-1}$, m \rightarrow 1 km – 1 dm);

- mikrovlny ($\lambda = 10^{-1} - 10^{-4}$, m \rightarrow 1 dm – 0,1 mm);
- infračervené záření ($\lambda = 10^{-4} - 7,6 \times 10^{-7}$, m \rightarrow 0,1 mm – 760 nm);
- viditelné světlo ($\lambda = 7,6 \times 10^{-7} - 3,9 \times 10^{-7}$, m \rightarrow 760 nm – 390 nm);
- ultrafialové záření ($\lambda = 3,9 \times 10^{-7} - 10^{-8}$, m \rightarrow 390 nm – 10 nm);
- rentgenové záření ($\lambda = 10^{-8} - 10^{-12}$, m \rightarrow 10 nm – 1 pm);
- záření γ - gama ($\lambda = < 10^{-12}$, m \rightarrow < 1 pm)

Stejně tak je možné říci, že z hlediska členění podle frekvence (Hz) je dělení následující:

- Ionizující záření >1,7 PHz;
- Optické záření: 300 GHz – 1,7 PHz;
- Radiofrekvenční záření: 100 kHz – 300 GHz;
- Nízkofrekvenční pole: 100 kHz;
- Statická pole: 0 (<1) Hz.

Další velmi známé dělení představuje rozdělení podle schopnosti ionizace. Na tomto základě lze rozeznat neionizující záření a ionizující záření. Za ionizující záření se považuje takové, které je schopné ionizovat atomy a molekule prostředí. Daná záření nejsou lidskými smysly odhadnutelná. Mezi tento druh záření řadíme gama záření, záření alfa a záření beta, rentgenové záření. Neionizující záření jsou obecně specifikována jako záření s relativně vyšším kmitočtem, jako je radiofrekvenční záření (RF), ultrafialové záření nebo infračervené záření.³

EMR vlny všech frekvencí vysílají energii. Podle kvantové mechaniky mohou být charakterizovány jako fotony. Energie fotonu je dána následovně⁴:

$$E = h \cdot f \quad \mathbf{I}^- \quad (1)$$

³ TUČEK, Milan, Miroslav CIKRT a Daniela PELCLOVÁ. Pracovní lékařství pro praxi: příručka s doporučenými standardy. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0927-9, s. 170

⁴ ELDER, Joe A. a Daniel F. CAHILL. Biological effects of radiofrequency radiation. Research Triangle Park, N. C.: Health Effects Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, 1984, s. 3-1

kde E je energie, h je Planckova konstanta ($6,63 \times 10^{-34}$ Joulů za sekundu) a f je frekvence.

Jak je z daného patrné, RF představuje neionizační druh záření pokrývající frekvenční rozsah do 300 GHz a vlnovou délku nad 10^{-3} m. RF je charakterizováno vlnovou délkou a frekvencí. Vlnová délka představuje vzdálenost, kterou urazí elektromagnetické vlny v rámci jednoho cyklu, přičemž frekvence je počet elektromagnetických vln procházejících daným bodem na jednu sekundu. Frekvenci RF se obvykle vyjadřuje v Hertzích (Hz).

RF se využívá v různých odvětvích, nejvýznamnější je pravděpodobně příjem radarových systémů. RF jsou součástí rozhlasové a televizní vysílání, přenosu mobilních telefonů, rádiová komunikace pro policejní a hasičské sbory, amatérské rádio, mikrovlnná trouba. Stejně tak se RF využívá ve formě vyzařování vln nebo elektrického proudu pro lékařské účely od období druhé světové války.⁵

Stejně tak RF v dnešní době představuje primární technologii pro celou řadu medicínských přístrojů. I přesto, aplikace RF či design přístrojů využívajících RF je jiný, primární princip účinku RF v oblasti tkání je neměnný.⁶

V tomto ohledu lze RF pro své tepelné účinky řadit mezi metody, které jsou vhodné k prohřívání organismu. Jde v podstatě to, aby se dosáhlo tepelného účinku vyvolaného vysokou frekvencí. RF lze vytvořit při průchodu částic v uzavřeném okruhu. Volné prostředí lidského organismu obsahuje ionty, vzhledem k tomu se toto prostředí chová jako elektrolyt.⁷ V RF rozsahu o frekvenci 100 kHz až 1MHz dochází v lidském organismu k disperzi, která se projevuje polarizací buněčných membrán.⁸ Principiálně RF vychází z rychlé změny polarity elektrod přístroje vyvolávající pohyb nabitých částic tkáně, při

⁵ SUNG, Ruy J. and Michael R. LAUER. Fundamental approaches to the management of cardiacarrhythmias. Springer, 2000, ISBN 978-0-7923-6559-4, s. 153

⁶ IHNÁT, Peter. Základní chirurgické techniky a dovednosti. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0334-8, s. 114

⁷ ŠPIČÁK, Julius a Ondřej URBAN. Novinky v digestivní endoskopii. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-5283-9, s. 49

⁸ PENHAKER, Marek. Lékařské diagnostické přístroje: učební texty. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN 8024807513, s. 38

čemž dochází ke vzniku třetího tepla. Toto teplo je závislé na množství RF proudu, charakteru elektrod a odporu tkáně organismu.⁹

1.2 Vliv a bezpečnosti radiofrekvenčního záření na lidský organismus

O možnosti ovlivnění lidského zdraví RF se především v negativním smyslu se začalo uvažovat zejména s nárůstem mobilních zařízení v posledních dvaceti letech. Zatímco většina rádiové technologie v předchozím období využívala analogové signály, moderní bezdrátové telekomunikační síť začala používat vysílání digitální, což vzbudilo paniku v oblasti škodlivosti RF záření.

Šetření účinků RF záření na buněčné systémy člověka je především snaha o objasnění interakce biochemických mechanismů, makroskopického biologického systému a záření.¹⁰

Obecně se předpokládalo, že energetická hladina RF záření je příliš nízká, aby zařízení jako mobilní telefony, mikrovlnky, televize a počítače mohli mít vliv na lidský organismus. Mnoho lidí však stále zajímalo, jestli vystavení RF s ohledem na mobilní telefony může způsobovat rakovinu. Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny (IARC), která spadá pod Světové zdravotnické organizace (WHO) začala vytvářet, vyhodnocovat a publikovat vědecké studie na dané téma. V zásadě objevily z desítek studií některé možné souvislosti mezi radiovými vlnami a rakovinou. Jedná se o to, že síla RF záření je největší u zdroje, a rychle se zmenšuje se vzdáleností, přičemž mobilní telefony jsou užívány u hlavy. Vzhledem k tomu je možné dát do souvislosti rakovinu mozku s RF zářením. Ve studii bylo pozorováno, že za určitých okolností přispívají RF vlny k růstu nádorů. V souhrnu bylo však konstatováno, že se nepotvrdila spojení mezi používáním mobilních telefonů a rozvoji nádoru. I přesto tyto závěry s ohledem na časovou osu, kdy následky se

⁹ GOLD MH and MP GOLDMAN. Treatment of Wrinkles and Elastosis Using Vacuum-Assisted Bipolar Radiofrequency Heating of the Dermis. *Dermatol Surg.* 2007, s. 900–907. [online] [cit. 20. 03. 2017]. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.15244725.2007.33064.x/abstract;jsessionid=CB0FD54677F2B96C0681BF3320EFB738.f03t02>

¹⁰ ELDER, Joe A. a Daniel F. CAHILL. Biological effects of radiofrequency radiation. Research Triangle Park, N. C.: Health Effects Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, 1984, s. 5-1

mohou projevit v budoucnu, nebyly akceptovány. V důsledku toho IARC uvádí, že RF záření z bezdrátových sítí může mít na člověka karcinogenní účinky.¹¹

Je zjevné, že RF záření a jeho rizikovost pro lidské zdraví existuje, a to i vzhledem k množství pravidel souvisejících s ochranou zdraví, které je třeba dodržovat v souvislosti s různým druhem ERM. Např. u RF s frekvencí vyšší než 100 kHz může dojít k popálení kůže či přehřátí části těla.

¹¹ Do cell phones cause any other health problems? © 2017 American Cancer Society [online] 2017 [cit. 15. 03. 2017]. Dostupné z: <https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/radiation-exposure/cellular-phones.html>

2. Radiofrekvenční techniky a jejich využití v terapii a diagnostice

Tato část práce se bude zaměřovat na radiofrekvenční techniky v terapii a diagnostice, zejména se bude soustředit na radiofrekvenční ablace, která dokáže pomoci při různých druzích onemocnění člověka.

2.1 Radiofrekvenční ablace

Radiofrekvenční ablace (RFA) se dá charakterizovat jako metoda využívající tepla, které produkuje RF za účelem zničení tkáně.¹² K ablacii se udává teplota o rozmezí 50 až zhruba 105° C, v závislosti na typu přístroje, vyšší teploty se nedoporučují, neboť dochází ke karbonizaci či vaporizaci tkáně extrémně navyšující tkáňový odpor, což účinky ablace snižuje. Principiálně vychází radiofrekvenční ablace ze vztahu mezi impedancí, elektrickou energií a elektrickým proudem, který osciluje v rozsahu 200 až do max. 1200 kHz. Výrobci RF přístrojů uvádějí, že lze za optimálních podmínek sezení snést plochu o velikosti až 5 cm.¹³

Pro radiofrekvenční ablacii se v medicíně využívá:¹⁴

- aktivní elektrody (cluster, chlazená elektroda, bipolární elektroda, samoexpandibilní elektroda s háčky apod.);
- přístroje mající pulzní generátor s algoritmus RFA.

Za výhody radiofrekvenční ablace lze považovat vysokou efektivitu, v porovnání s jinými metodami nízkou invazivitou, minimální rizikovitost a komplikace a možnost opakování.¹⁵

¹² VELA, Marcelo F. Refluxní choroba jícnu - GERD. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-4063-8, s. 231

¹³ VÁLEK, Vlastimil, Zdeněk KALA a Igor KISS Invazivní lokální léčba metastáz kolorektálního karcinomu. Kolorektální karcinom, 2009, s. 60 – 62. [online] 2017 [cit. 15.03 2017]. Dostupné z: https://www.mojemedicina.cz/files/leciva/jine-soubory/avastin/invazivni_lokalni_lecba.pdf

¹⁴ Tamtéž.

¹⁵ Tamtéž.

2.2 Léčba srdeční arytmie

2.2.1 O ablaci při srdeční arytmi

RFA se v posledních letech často využívá při srdečních onemocnění, zvláště pak u různých forem srdeční arytmie, tedy poruch srdečního rytmu. Ablace se provádí na principu koagulace tkáně teplem pomocí tzv. katetrů. Katetr představuje nástroj, který se zavádí pro napíchnutí cév s cílem zničit tkáň, která je zodpovědná za srdeční onemocnění.¹⁶

Podstata katérové ablace pomocí RF spočívá v aplikaci střídavého nemodulovaného vysokofrekvenčního elektrického proudu na frekvenci 500–1 000 kHz. Energie prochází tělem mezi ablační elektrodou, která je nalepena na zádech pacienta, a katétrem.¹⁷ Katétry jsou napojené na generátor, který slouží jako zdroj RF. K poškození tkáně dochází při minimální teplotě zhruba 48°C. K ohřevu tkáně dochází v bezprostřední blízkosti katétru, v rozsahu 1-3mm.¹⁸

Katétr se zavádí v oblasti krku nebo třísel. Dané místo je znecitlivěno lokálními anestetiky. Poté se kůže v místě zavedení několik mm nařízne, následně je skrze cévu zavedena větší jehla. Dovnitř cévy se přes drátěný ohebný vodič zavádí plastická trubice. Skrze tuto trubici se následně zavádějí různé druhy katetrů. Jedná se o ohebné a dlouhé katétry z plastu umožňují snímat elektrické signály. Obvykle se k vyšetření a katetrizační ablaci zavádí několik katetrů.¹⁹

¹⁶ VÍTOVEC, Jiří a Jindřich ŠPINAR. Farmakoterapie kardiovaskulárních onemocnění. 2. přeprac. a dopl. vydání. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0866-3, s. 214

¹⁷ STÁREK, Zdeněk, Martin EISENBERGER, Libor ZAORAL, Pavel LEINVEBER, Pavel a Miroslav NOVÁK. Radiofrekvenční katetrizační ablace supraventrikulárních tachyarytmií, historie a současnost. *Intervenční akutní kardiologie* [on-line]. 2006. roč. V, č. 3, s. 122-130. [cit. 22. 03. 2017]. ISSN 1803-5302. Dostupné z: <http://www.iakardiologie.cz/pdfs/kar/2006/03/06.pdf>

¹⁸ EISENBERGER, Martin, Alan BULAVA a Martin FIALA. *Základy srdeční elektrofyziologie a katérových ablací*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3677-8, s. 75

¹⁹ IKEM. Katetrizační ablace arytmií. © IKEM 2006-2011[on-line].[cit. 22. 03. 2017]. Dostupné z: <http://www2.ikem.cz/www?docid=1004017>

V místě styku tkáně s hrotem katétru dochází v tenké vrstvě tkáně k účinkům RF a zároveň ke tvorbě odporového tepla šířícího se do okolních tkání.²⁰ Vedením tepla dochází sekundárně i k pasivnímu ohřevu tkáně v rozmezí časového posunu 5-20 sekund.²¹ Při teplotě okolo 50 °C dochází k poškození tkáně a vzniku koagulační nekrózy, která je podkladem pro radiofrekvenční ablační léze. Takto vznikají dobře ohraničené nekrózy velikosti kolem 4 mm (s použitím standardního katétru). Zákrok umožňuje selektivní destrukci potřebné tkáně, riziko poškození okolních struktur se jeví jako minimální.²² Ablační efekt je většinou trvalý. Kontrola úspěchu zákroku probíhá obvykle dvacet až třicet minut po zákroku.²³ V závislosti na druhu arytmiie dosahuje tato metoda v léčbě srdečních arytmií 70% až 98 % dlouhodobé účinnosti.²⁴

Technika, která se při katetrizační ablací rovněž objevuje a slouží k vizualizaci polohy katétru je skiaskopie. V této souvislosti lze hovořit o možných nežádoucích účincích na lidský organismus, jelikož metoda je na bázi zobrazení dynamického RTG obrazu. Celkové riziko malignity, které způsobuje zářením při elektrofyzilogickém vyšetření s ablací je odhadováno na cca 0,03 % po dobu jedné hodiny skiaskopie, na 1 milion novorozenců je riziko mutace v rozmezí 1–20 případů, opět po dobu hodinového vystavení záření. Proto je vhodné snížit radiační zátěž, která je potřebná při ablací na minimum. Zobrazení katétru při výkonu ilustruje obr. 2. Mezi komplikace lze řadit např. cévní

²⁰ STÁREK, Zdeněk, Martin EISENBERGER, Libor ZAORAL, Pavel LEINVEBER, Pavel a Miroslav NOVÁK. Radiofrekvenční katetrizační ablace supraventrikulárních tachyarytmií, historie a současnost. *Intervenční akutní kardiologie* [on-line]. 2006. roč. V, č. 3, s. 122-130. [cit. 22. 03. 2017]. ISSN 1803-5302. Dostupné z: <http://www.iakardiologie.cz/pdfs/kar/2006/03/06.pdf>

²¹ EISENBERGER, Martin, Alan BULAVA a Martin FIALA. *Základy srdeční elektrofyzilogie a katérových ablací*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3677-8, s. 75

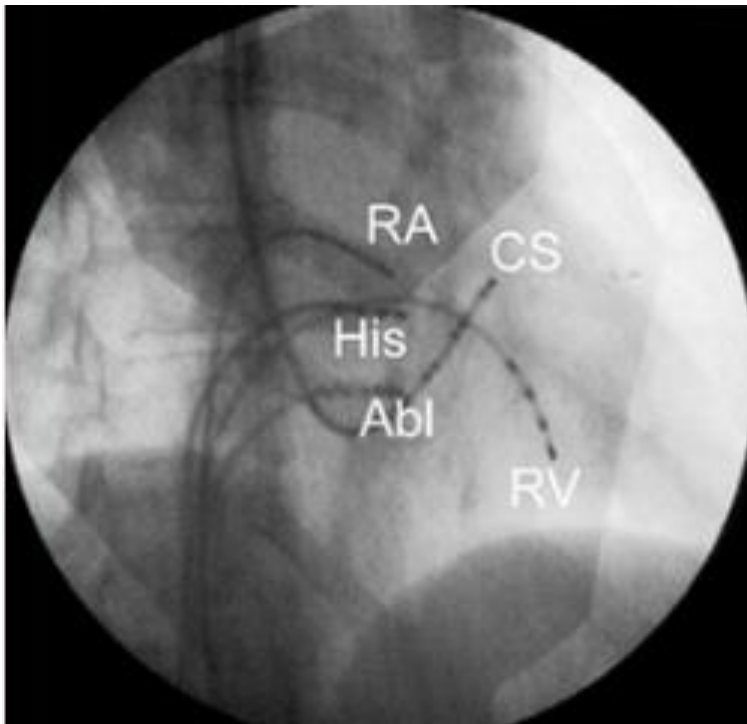
²² STÁREK, Zdeněk, Martin EISENBERGER, Libor ZAORAL, Pavel LEINVEBER, Pavel a Miroslav NOVÁK. Radiofrekvenční katetrizační ablace supraventrikulárních tachyarytmií, historie a současnost. *Intervenční akutní kardiologie* [on-line]. 2006. roč. V, č. 3, s. 122-130. [cit. 22. 03. 2017]. ISSN 1803-5302. Dostupné z: <http://www.iakardiologie.cz/pdfs/kar/2006/03/06.pdf>

²³ EISENBERGER, Martin, Alan BULAVA a Martin FIALA. *Základy srdeční elektrofyzilogie a katérových ablací*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3677-8, s. 75-77

²⁴ ALDHOON, Bashar a Josef KAUTZNER. Komplikace katetrizační ablace srdečních arytmií. *Intervenční akutní kardiologie*. [on-line]. 2013. roč. XII, č. 3, s. 135-140. [cit. 22. 03. 2017]. ISSN 1803 5302. Dostupné z: <http://www.iakardiologie.cz/pdfs/kar/2013/03/07.pdf>

komplikace, infekční komplikace, tromboembolické komplikace, případně další specifické komplikace jako atrioventrikulární blokády či srdeční perforace.²⁵

Obrázek 2 Zobrazení katetrů v srdci při ablacii



Zdroj: IKEM, © IKEM 2006-2011 [on-line]

K minimalizaci rizik dochází i znalostí maximální teploty. Při dosažení teploty cca 100 °C vzniká přehřátí tkáně následované její explozí. Následný vznik krevní sraženiny má za následek nárůst impedance, která omezuje zvětšování léze, náhle zde vzniká i riziko embolizaci sraženiny nebo perforace srdeční stěny. Z tohoto hlediska je potřeba na hrotu katétru kontrolovat udržování nastavené teploty skrze monitorování teploty, která je v místě, kde se hrot katétru stýká s tkání.²⁶

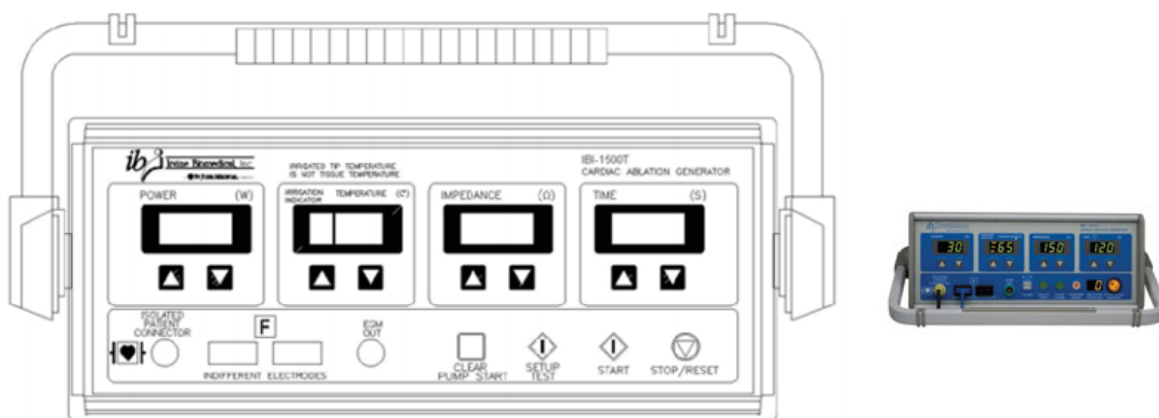
²⁵ ALDHOON, Bashar a Josef KAUTZNER .Komplikace katetrizační ablace srdečních arytmií. *Intervenční akutní kardiologie*. [on-line]. 2013. roč. XII, č. 3, s. 135-140. [cit. 22. 03. 2017]. ISSN 1803 5302. Dostupné z: <http://www.iakardiologie.cz/pdfs/kar/2013/03/07.pdf>

²⁶ STÁREK, Zdeněk, Martin EISENBERGER, Libor ZAORAL, Pavel LEINVEBER, Pavel a Miroslav NOVÁK. Radiofrekvenční katetrizační ablace supraventrikulárních tachyarytmií, historie a současnost. *Intervenční akutní kardiologie* [on-line]. 2006. roč. V, č. 3, s. 122-130. [cit. 22. 03. 2017]. ISSN 1803-5302. Dostupné z: <http://www.iakardiologie.cz/pdfs/kar/2006/03/06.pdf>

2.2.2 Generátor RF energie

Generátor RF energie vytváří spojitě nedomulované vlnění o frekvenci 460-485 kHz. Lze jej spojit s běžně dostupnými externími elektrodami typu DIP (Disposable Indifferent Patch). Generátor měří efektivní proud, efektivní napětí a zvolený výstupní výkon. Uživatel si může zvolit trvání a velikost dodávaného RF výkonu.²⁷ Generátor ilustruje obrázek 3.

Obrázek 3 Generátor RF energie



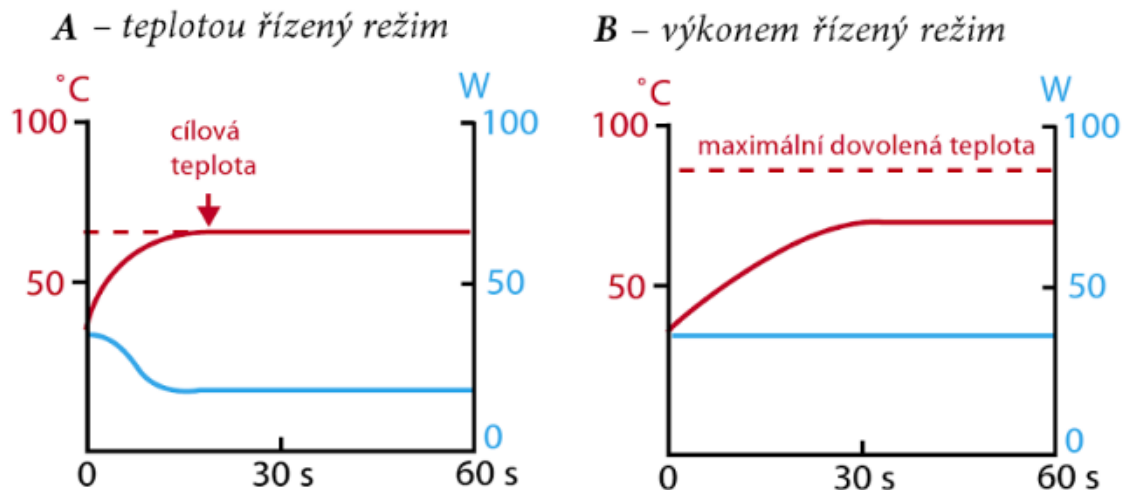
Zdroj: Cardion, © 2013 - 2017 CARDION s r.o. [on-line]

Generátor RF energie má obvykle možnost pracovat ve dvou režimech, modu řízeném teplotou či modu řízeném výkonem. Při nastavení režimu řízeného teplotou (temperature control mode) dodává generátor automaticky výkon, tak aby nebyla překročena nastavená cílová teplota, zatímco při modu výkonem řízeného režimu (power control mode) dodává

²⁷ Příručka k obsluze KARDIÁLNÍ ABLAČNÍ GENERÁTOR S REGULACÍ TEPLoty se 4 nezávislými a současně zobrazovanými kanály, (termočlánek) 1 kanál (termistor) Číslo modelu IBI-1500T11 Verze softwaru 3.0 [on-line]. [[cit. 22. 03. 2017]. Dostupné z: <http://www.cardion.cz/file/850/manual-ibi1500t11.pdf>

generátor nastavený výkon bez ohledu na teplotu elektrody, avšak maximální dovolená teplota existuje.²⁸ Režimy generátoru ilustruje obrázek 4.

Obrázek 4 Rozdíl v nastavení generátoru při RFA



Zdroj: EISENBERGER, BULAVA, FIALA, 2012, s. 77

2.2.3 Využívané druhy katetrů

Při srdeční arytmií se využívají v podstatě dva druhy katetrů, jednak se jedná o katetry diagnostické a dále o katetry pro samotnou ablací.

Ablační katetry lze rozdělit na následující druhy²⁹:

- standardní ablační katetry;
- chlazené ablační katetry.

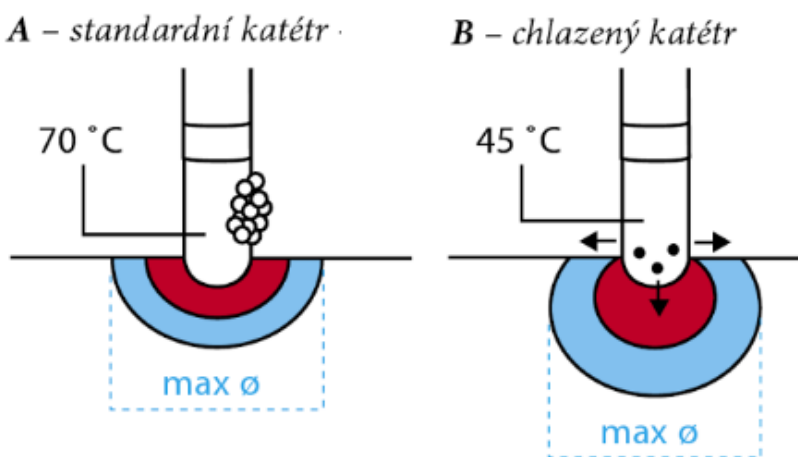
Po napojení na generátor dodávají během ablace standardní ablační katetry do tkáně RF energii. Hroty těchto nástrojů jsou vyráběny ze slitiny iridia a platiny, případně ze zlata (avšak ty vytvářejí větší ablační léze). Standardně se používají katetry s hrotem 4 mm,

²⁸ EISENBERGER, Martin, Alan BULAVA a Martin FIALA. Základy srdeční elektrofyziologie a katérových ablací. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3677-8, s. 77

²⁹ EISENBERGER, Martin, Alan BULAVA a Martin FIALA. Základy srdeční elektrofyziologie a katérových ablací. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3677-8, s. 78

avšak lze využít i katétrů delším 8 mm hrotem. Zakřivení standardních katétrů je unidirekční, tedy jedním směrem, či bidirekční, tedy oběma směry.³⁰

Obrázek 5 Rozdíl mezi standardním a chlazeným katétrem



Zdroj: EISENBERGER, BULAVA, FIALA, 2012, s. 79

Oba druhy katétrů, tedy jak standardní, tak chlazený ilustruje obrázek 5. Po napojení na generátor dodávají během ablace standardní ablační katétrů do tkáně RF energii. Hroty těchto nástrojů jsou vyráběny ze slitiny iridia a platiny, případně ze zlata (avšak ty vytvářejí větší ablační léze). Standardně se používají katétrů s hrotem 4 mm, avšak lze využít i katétrů delším 8 mm hrotem. Zakřivení standardních katétrů je unidirekční, tedy jedním směrem, či bidirekční, tedy oběma směry.³¹

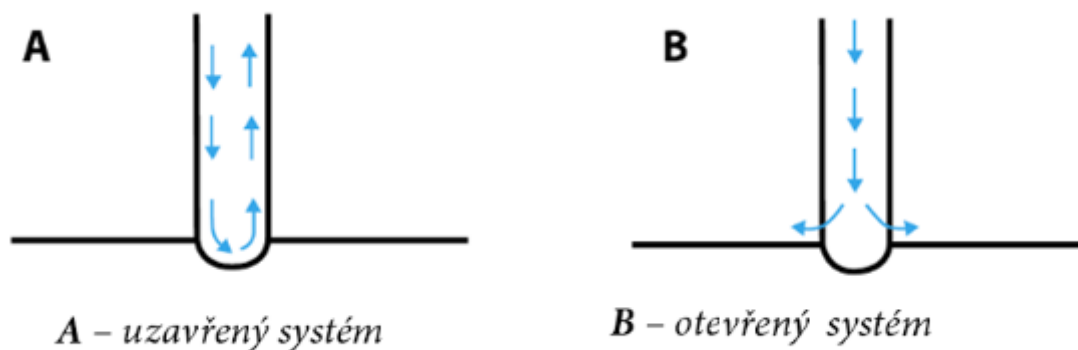
Chlazené ablační katétrů se využívají u větších nebo hluboko uložených ložisek, které způsobují srdeční arytmií. S chlazením lze způsobit léze větší plochy, které jsou žádoucí pro odstranění arytmie. Při chlazení je hrot katétrů ochlazován fyziologickým roztokem snižujícím teplotu ablační elektrody a okolí, čím se zamezí zvýšenému riziku komplikací. V současnosti jsou k dispozici dva základní druhy těchto katétrů. Jedná se o katétrů s uzavřeným systémem a dále pak katétrů s otevřeným systémem. U katétrů s uzavřeným

³⁰ Tamtéž.

³¹ EISENBERGER, Martin, Alan BULAVA a Martin FIALA. Základy srdeční elektrofyziologie a katérových ablací. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3677-8, s. 79

systemem obsahuje katétr dvě části, tzv. lumen, kterými protéká chladivý fyziologický roztok směrem k hrotu katétru a následně zpět. U katétru s otevřeným systémem vytéká roztok rovnou do okolí, díky otvorům v ablačních elektrodách.³² Tyto rozdíly ilustruje obrázek 6.

Obrázek 6 Systémy chladicích ablačních katétrů



Zdroj: EISENBERGER, BULAVA, FIALA, 2012, s. 79

U standardního katétru je tedy třeba dodat dostatečného výkonu, aby byla velikost léze optimální, avšak tento výkon je s rizikem, neboť může dojít k přehřátí tkáně pod katétre a vzniku komplikací. U chlazeného katétru lze využít vyššího výkonu bez rizika přehřátí hrotu katétru. U standardní ablační katétr se doporučuje u menších ložisek v módu řízeném teplotou, naopak u chlazených katétrů se doporučuje využití módu řízeného výkonem, protože, určit přesnou teplotu je v důsledku chlazení nespolehlivé.³³

³² EISENBERGER, Martin, Alan BULAVA a Martin FIALA. Základy srdeční elektrofyzologie a katérových ablací. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3677-8, s. 79

³³ Tamtéž

2.3 Léčba jaterních nádorů

2.3.1 O ablaci při léčbě jaterních nádorů

Význam léčby nádorů jater je nezaměnitelný. Játra představují orgán, který je z pravidla v naší populaci na prvních místech úmrtnosti následkem tumoru. Tumor většinou metastázuje až při velikosti 1 cm³. Při léčbě metastáz lze využít několik druhů léčby chirurgického charakteru.³⁴ Za vhodné pacienty k léčbě jaterních obtíží pomocí RFA jsou považováni ti, kteří mají max. 6 metastáz do velikosti maximálně 5 cm (optimálně však 3 cm), které nejsou resektabilní a zároveň je pacient bez přítomnosti onemocnění mimo jaterní oblast či jde o pacienta se solitárními ložisky v jaterním parenchymu. V zásadě je výběr pacientů závislý na lékaři s ohledem na lokální název, laboratorní nález a s ohledem na celkový zdravotní stav pacienta, jeho věk a případná omezení (další nemoci).³⁵

RFA je u jaterních nádorů využívána jako destruktivní metoda od roku 1990. A to zejména jako alternativa léčby v případě včasného zachycení hepatocelulární karcinomu. Dříve se při léčbě hepatocelulární tumorů jako neinvazivní metoda využívala zejména infiltrace alkoholem, která však byla postupně vytlačena pomocí ablace. V případě ablace jde o velmi málo invazivní metodu v porovnání s dalšími způsoby odstranění nádoru. I zde se jedná o metodu, která využívá střídavý proud o frekvenci cca 460 kHz a výkonu cca 50 až 200 W. V zásadě se jedná o to, že se RF sonda obvykle perkutánně umístí do lokace nádoru. Následně dojde pomocí RF v místě, kde se nachází nádor k jeho zničení v důsledku ohřevu tkáně, tedy tepla vzniklého při průchodu energie tkáněmi. Zároveň k ablaci dochází většinou za pomoci zařízení vhodného ke sledování zákroku, tedy za přítomnosti sledovacích technik, jako je magnetická rezonance, ultrazvuk nebo CT. V okolí dané sondy dochází k rázovému vzestupu tepla.³⁶ K destrukci tkáně při RFA dochází za pomoci radiofrekvenční elektrody. Za optimálních podmínek lze touto metodou způsobit nekrózu

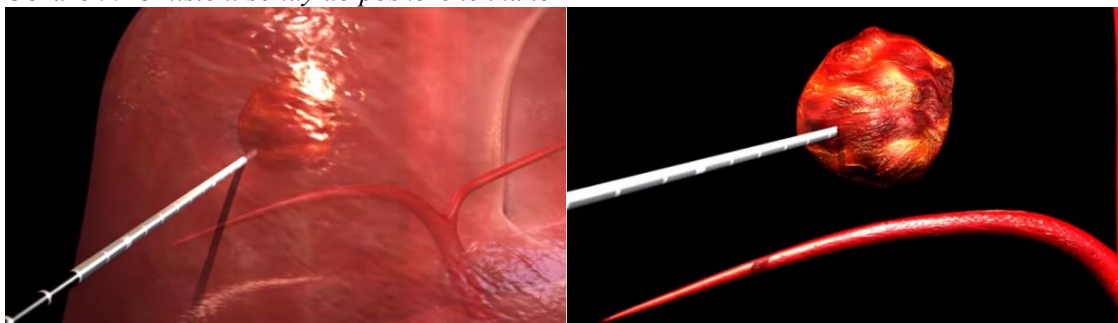
³⁴ SKALICKÝ, Tomáš a Vladislav TŘEŠKA. Radiofrekvenční ablace jaterních nádorů. Praha: Maxdorf, 2006. Jessenius. ISBN 80-7345-063-1, s. 21-22

³⁵ Tamtéž, s. 27

³⁶ Tamtéž, s. 11-12

o rozměru až 7 cm. Tvar a velikost léze závisí na mnoha faktorech, jako je typ a lokace nádoru, jeho velikost, tvar elektrody či charakter jaterní tkáně. K dosažení nekrózy je potřeba obvykle působení 4-7 minut. Zvýšení teploty hrotu může vést k vaporizaci, karbonizaci či odpaření tkáně. K zabránění toho lze využít chlazené elektrody.³⁷ Při teplotě kolem 50 °C dochází k nekróze tkáně včetně ložiska nádoru, strukturální porucha je patrná již při 42 °C.³⁸ Následující obrázky ilustrují průběh ablace jaterního nádoru.

Obrázek 7 Umístění sondy do poškozené tkáně



Zdroj: © 2011 Biologická a alternativní léčba rakoviny [on-line]

Obrázek 8 Rozmístění malých zahnutých elektrod ze sondy do poškozené tkáně

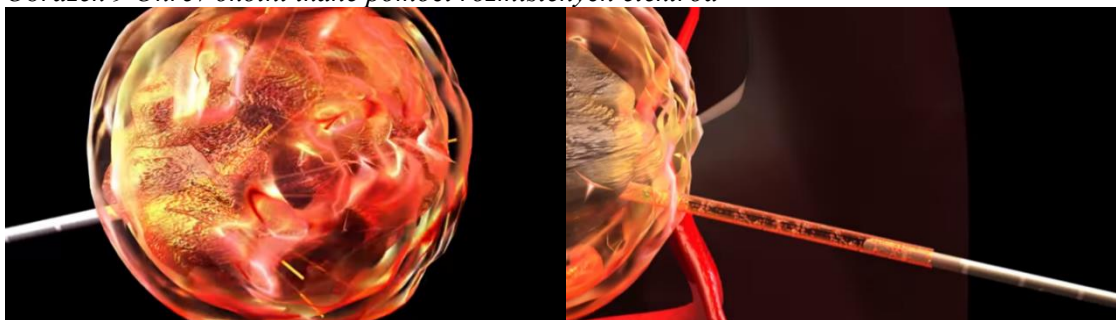


Zdroj: © 2011 Biologická a alternativní léčba rakoviny [on-line]

³⁷ LIPSKÁ, Ludmila a Vladimír VISOKAI. Recidiva kolorektálního karcinomu: komplexní přístup z pohledu chirurga. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-3026-4, s. 416

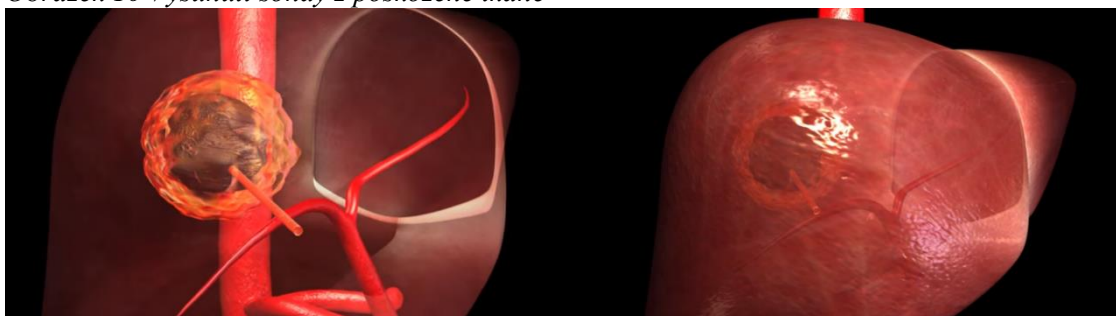
³⁸ SKALICKÝ, Tomáš a Vladislav TŘEŠKA. Radiofrekvenční ablace jaterních nádorů. Praha: Maxdorf, 2006. Jessenius. ISBN 80-7345-063-1, s. 11-12

Obrázek 9 Ohřev okolní tkáně pomocí rozmístěných elektrod



Zdroj: © 2011 Biologická a alternativní léčba rakoviny [on-line]

Obrázek 10 Vysunutí sondy z poškozené tkáně



Zdroj: © 2011 Biologická a alternativní léčba rakoviny [on-line]

RFA se dnes řadí mezi metodu, která je z metod využívajících tepelného efektu nejrozšířenější. Dalšími metodami jsou laserová ablace, mikrovlnná ablace či kryoterapie.³⁹ Ve srovnání s perkutánním léčením laserovou metodou je tato metoda levnější a účinnější. Ve srovnání výsledků koagulačních metod dopadá metoda RFA lépe než použití mikrovlnné ablace.⁴⁰

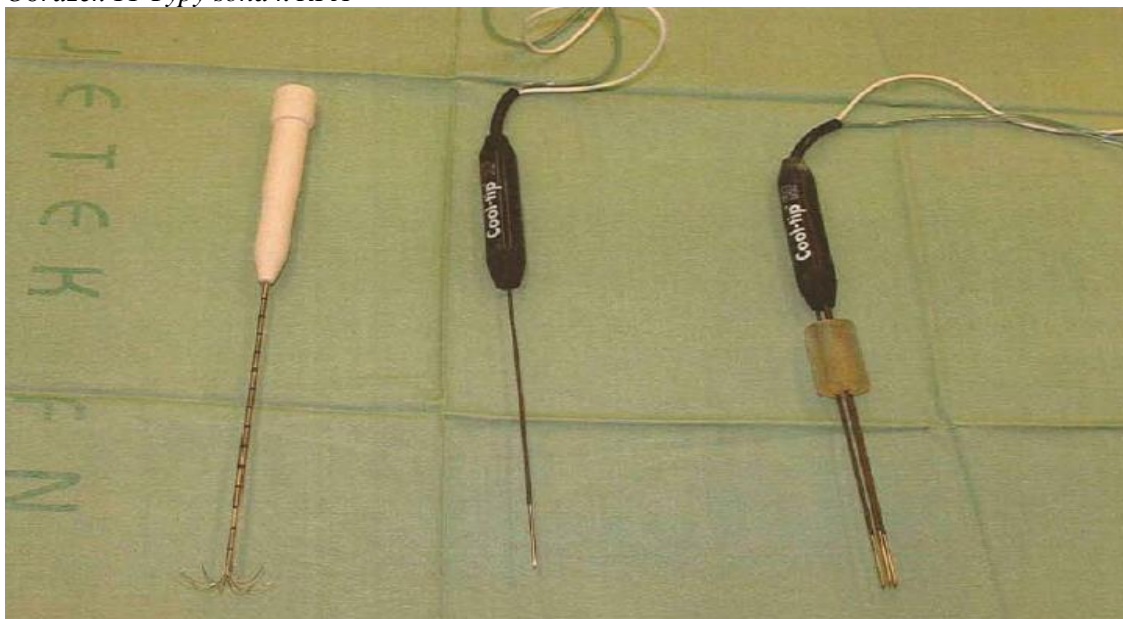
³⁹ ADAM, Zdeněk, Jiří VANÍČEK a Jiří VORLÍČEK. Diagnostické a léčebné postupy u maligních chorob. 2., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0896-5.

⁴⁰ VÁLEK, Vlastimil, Zdeněk KALA a Igor KISS. Maligní ložiskové procesy jater: diagnostika a léčba včetně minimálně invazivních metod. Praha: Grada, 2006. ISBN 80-247-0961-9, s. 350

2.3.2 Využívané druhy sond a RF generátorů

Pro ablací v oblasti jater existuje několik druhů sond (katétrů). Ty, které budou přestaveny, jsou zobrazeny na obrázku 7. Jak je z obrázku patrné, sondy se vzájemně liší, a to zejména svým zakončením. Bílá sonda (na obrázku 7 vlevo) je sonda Le Veenova typu. Tento druh sondy se využívá při výkonech na jaterním parenchymu, případně plicním parenchymu. „Paprsky“ elektrod se po zavedení do maligního ložiska rozvinou. Tímto způsobem lze dosáhnout vyššího objemu destrukce, tedy větší léze potřebné k odstranění celého maligního ložiska. Druhou sondu (na obrázku 7 uprostřed) využívanou při RFA představuje jednoduchá sonda, která umožňuje jednoduchou nekrózu tkáně o rozměru 3cm. Tato sonda bývá využívána velmi často pro přesně daná maligní ložiska s cílem zabezpečit jejich jednoduchou nekrózu. Obvykle se v těchto případech jedná i nekrózu lemu zdravé tkáně. Poslední sondou (na obrázku 7 vpravo) je tzv. Clusterova sonda. Tento druh sondy poskytuje opět možnost vyššího objemu destrukce tkání díky trojitě jehle na konci. Tyto sondy jsou monopolární.⁴¹

Obrázek 11 Typy sond k RFA

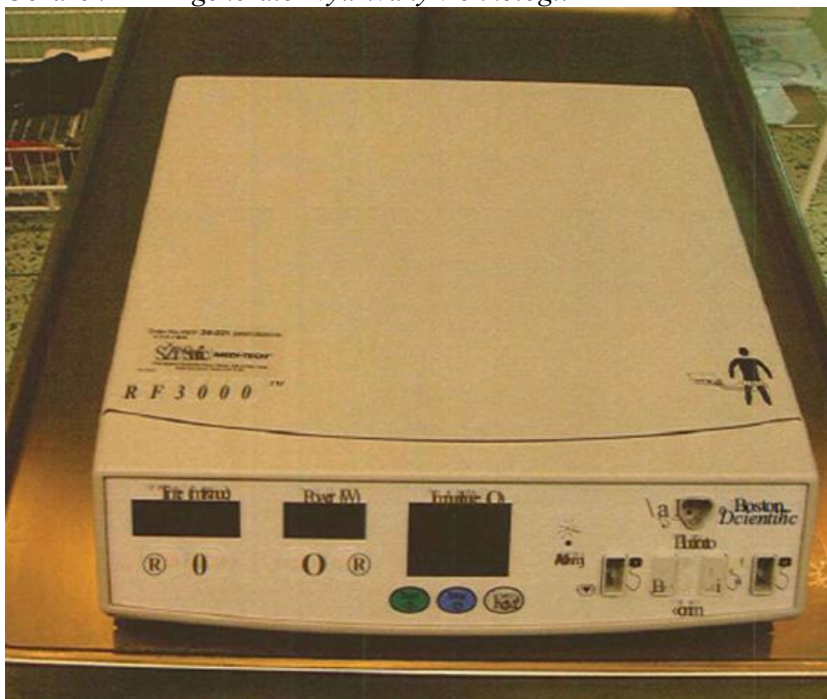


Zdroj: SKALICKÝ, TŘEŠKA , 2006, s. 12

⁴¹ SKALICKÝ, Tomáš a Vladislav TŘEŠKA. Radiofrekvenční ablace jaterních nádorů. Praha: Maxdorf, 2006. Jessenius. ISBN 80-7345-063-1, s. 12-16

Kromě monopolních systémů existují i tzv. bipolární systémy. U těchto systémů jsou oba póly umístěny v průběhu sondy a proces probíhá mezi těmito póly.⁴² Především v začátcích této RFA dělali komplikaci právě monopolární elektrody, které umožňovaly odstranit pouze určitý velmi malý okrsek tkáně postižené tumorem. Avšak to se změnilo po zavedení chlazených, expanzibilních a bipolárních elektrod. I přesto jsou dnes určitá omezení při RFA z hlediska velikosti tkáně, kterou je možné takto ošetřit. Pro zvětšení rozměru nekrotizované tkáně se využívá kombinace více faktorů. Jedná se zejména o nastavení RF generátoru, volbu elektrody (sondy), aplikaci cytostatik a aplikaci fyzikálního roztoku (k chlazení) apod. ⁴³Při tomto výkonu je opětovně využit RF generátor, ten je zodpovědný za odebrání střídavého proudu z elektrické sítě o frekvenci 50 Hz jeho konvertování na vysokofrekvenční střídavý proud nezbytný k RFA.⁴⁴ Obrázek 8 nabízí pro ilustraci opět generátor využívání při RFA jaterní oblasti.

Obrázek 12 RF generátor využívaný v onkologii



Zdroj: SKALICKÝ, TŘESKA , 2006, s. 20

⁴² Tamtéž

⁴³ LIPSKÁ, Ludmila a Vladimír VISOKAI. Recidiva kolorektálního karcinomu: komplexní přístup z pohledu chirurga. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-3026-4, s. 416

⁴⁴ IHNÁT, Peter. Základní chirurgické techniky a dovednosti. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0334-8, s. 116

2.4 Léčba křečových žil

2.4.1 O ablaci při léčbě varixů

Varixy dolních končetin, tedy křečové žíly představují vinuté dilatace žil, které jsou ohraničené, dokladem pro jejich vznik je insuficience žil. V ranních stádiích se primárně využívají k léčbě zejména různé elastické bandáže a kompresní punčochy, které bývají efektivní. V těžších stádiích onemocnění se přistupuje k odstranění varixů.⁴⁵

V dnešní době existuje v oblasti žilní chirurgie celá řada málo invazivních technik, které nahrazují klasické operace. Mezi tyto zákroky lze řadit především⁴⁶:

- radiofrekvenční ablace vena saphena magna (velká skrytá žíla dolní končetiny, VSM);
- ablace VSM laserem;
- endoskopický odběr VSM;
- rekonstrukce žilních chlopní;
- flebektomie světlem řízená.

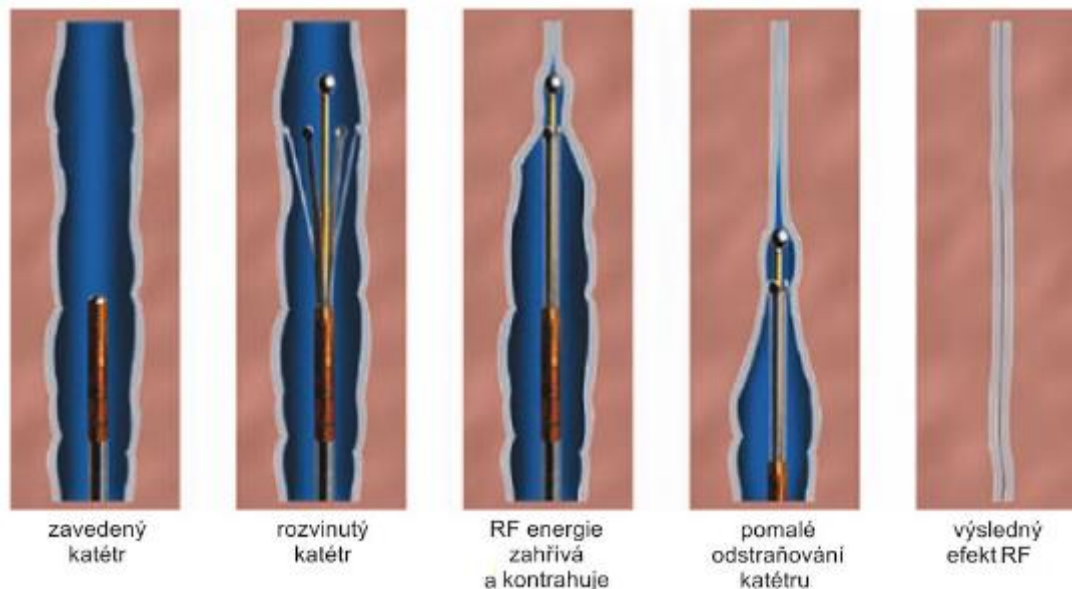
Ukazuje se, že u RFA je menší pooperační bolesti a rychlejší uzdravení pacientů ve srovnání s klasickou operací. I přesto má možná rizika, mezi která lze řadit zejména hlubokou žilní trombózu, dále možný hematom, parestézie, infekci, perforaci cévy či popáleniny kůže. Pro odstranění varixů na nohách se ablace chápe jako endovaskulární ošetření VSM. RFA je provedena formou zavedení katétry do této žíly, obvykle punkční Seldingerovou technikou, případně po předchozím vypreparování velké VSM (v dolní třetině stehna). Aktivní část sody katetru je dlouhá cca 7 cm. RF je následně přenášena do stěny žíly, kde v důsledku tepelného efektu dochází k jejímu smrštění a následně uzavření. Obvyklá teplota potřebná pro ošetření křečových žil RF je cca 85°C. Zárok je

⁴⁵ CETKOVSKÁ, Petra, Karel PIZINGER a Jiří ŠTORK. Kožní změny u interních onemocnění. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-1004-4, s. 444

⁴⁶ KRAJÍČEK, Milan, Jan H. PEREGRIN, Miloslav ROČEK a Pavel ŠEBESTA. Chirurgická a intervenční léčba cévních onemocnění. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-0607-8, s. 351

prováděn většinou v lokální anestezii.⁴⁷ Celý zákrok ilustruje obrázek 9. Jak je z daného obrázku patrné, proces zákroku se dá rozčlenit na několik kroků.

Obrázek 13 RFA varixů



Zdroj: KRAJÍČEK, PEREGRIN, ROČEK, ŠEBESTA, 2007, s. 352

Rozdíl mezi klasickou operační technikou ošetření varixů a RFA je ten, že při klasické operaci dochází k odstranění celé části hlavního žilního povrchového kmene, avšak při RFA dochází k jeho uzavření uvnitř průsvitu při zahřívání tkáně s následným smrštěním a uzavřením hlavního žilního kmene i vyústění navázaných větví žilního řečiště.⁴⁸ Mezi výhody, které jsou oproti klasické metodě udávány, patří zejména její šetrnost, poměrně krátká rekonvalescence a nižší návratnost problémů.⁴⁹ Daný zákrok stejně tak ilustruje obrázek 10. Za výhodu se dá rovněž považovat způsob procesu, kdy se pomocí tepla

⁴⁷ KRAJÍČEK, Milan, Jan H. PEREGRIN, Miloslav ROČEK a Pavel ŠEBESTA. Chirurgická a intervenční léčba cévních onemocnění. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-0607-8, s. 352

⁴⁸ Nemocnice Přerov. Chirurgické oddělení. RFA - léčba varikozit dolních končetin. 2017 © AGEL a.s. [online][cit. 27. 03. 2017]. Dostupné z: <http://nemocniceprerov.agel.cz/pracoviste/oddeleni/chirurgicke-oddeleni/rozsah-pece/rfa.html>

⁴⁹ Lékařský dům Praha 7. Léčba křečových žil metodou VNUS Closure Fast. [online][cit. 27. 03. 2017]. Dostupné z: <http://www.ld.cz/cevni-poradna/vnus-closure-fast/>

docílí destrukci vnitřní stěny žíly, její kontrakci a slepení a následnou přeměnu na vazivo. Stejně důležité je zmínit, že opět se využívají zobrazovací techniky, jako je ultrazvuk.⁵⁰

Obrázek 14 RFA u varixů



Zdroj: © 2010 Centrum žilní chirurgie Kojetín [on-line]

2.4.2 Využívané druhy katétrů při léčbě varixů

K RFA se u léčby varixů užívá speciální katétr či jehla.⁵¹ Při RFA se u varixů využívá bipolární technika s ohebným bipolárním aplikátorem. Tato technika je známá i jako RFITT (z anglického výrazu *Bipolar radiofrequency-induced thermotherapy*). V daném případě pak žilní stěna působí jako vodič mezi dvěma póly. Vysokofrekvenční střídavý proud zahřívá stěnu žíly na cca 85-95 ° C, což způsobí smrštění žíly a následně celkové uzávěru žíly.⁵² Bipolární sondu ilustruje obrázek 10. Jak je patrné, dva póly jsou od sebe odděleny bílým izolantem.

⁵⁰ Léčba varixů. © 2010 Centrum žilní chirurgie Kojetín. [on-line][cit. 27. 03. 2017]. Dostupné z: <http://www.zilnichirurgie.cz/lecba-varixu.php>

⁵¹ Nemocnice Přerov. Chirurgické oddělení. RFA - léčba varikozit dolních končetin. 2017 © AGEL a.s. [on-line][cit. 27. 03. 2017]. Dostupné z: <http://nemocniceprerov.agel.cz/pracoviste/oddeleni/chirurgicke-oddeleni/rozsah-pece/rfa.html>

⁵² KASI Venkatesh, Tejas M. KALYANPUR, Kaustubh NARSINGHPURA. Bipolar radiofrequency-induced thermotherapy of great saphenous vein: Our initial experience. *Indian J Radiol Imaging* 2012; 22: 86–88. [on-line][cit. 27. 03. 2017]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3498646>

Obrázek 15 Bipolární sonda



Zdroj: KASI, KALYANPUR, NARSINGHPURA, 2012 [on-line]

2.5 Další využití RF

Kromě tradiční elektrochirurgie, která se využívá v medicíně k řezání a koagulaci tkání organismu, se lze setkat i s neinvazivní formou RF v dermatologii. V dnešní době je tato forma RF velmi populární u žen. Existuje spousta přístrojů, které produkují RF v rámci tzv. korektivní dermatologie. Radiofrekvenční ošetření pleti či jiný partií slibuje zákazníkům stimulaci kolagenových vláken v pokožce pomocí zahřátí na cca 40° C (podle oblasti). Tímto způsobem lze celá řada pacientů docílit zpomalení přirozeného stárnutí kůže.⁵³ Dále je RF využívána k cílenému ovlivnění nervových struktur při léčbě bolesti.⁵⁴

⁵³ BRYCHTA, Pavel. Estetická plastická chirurgie a korektivní dermatologie. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-0795-2, s. 221

⁵⁴ ROKYTA, Richard. Bolest a jak s ní zacházet: učebnice pro nelékařské zdravotnické obory. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-3012-7, s. 109

3. Praktická část

Radiofrekvenční ablace patří do kategorie takzvaných lokálních metod léčby. Hlavním působištěm radiofrekvenční ablace je zničení rakovinných buněk za pomoci sondy, která emituje teplo.⁵⁵ V kapitole je popsána jak obecný úvod o radiofrekvenční ablaci z hlediska lékařství, tak především obecný technický úvod z hlediska využití technologie, technických postupů a popisů a také vzorců a rovnic.

⁵⁵ JANÍKOVÁ, Eva a Renáta ZELENÍKOVÁ. Ošetrovatelská péče v chirurgii: pro bakalářské a magisterské studium. Praha: Grada, 2013. Sestra (Grada). ISBN 978-80-247-4412-4, s. 203

3.1 Obecný úvod do užití radiofrekvenční ablace

Radiofrekvenční ablace se užívá nejen při léčení nádorů, ale taktéž například pro léčbu srdeční arytmie či dermatologickou léčbu.

Z hlediska léčby tumorů se radiofrekvenční ablace užívá pro případ, pokud nelze nádor chirurgicky radikálně odstranit. Radiofrekvenční ablace (RF ablace) má za cíl nádor zničit za pomoci vysokých teplot. Vysoké teploty jsou vyvolány dvěma elektrodami, které se „vloží“ do nádoru. Je nutná kontrola pomocí CT, popřípadě laparoskopie či jiný typ kontroly, zdali byl nádor úspěšně zničen. Teploty elektrod dosahují více než 100 stupňů Celsia.⁵⁶ Aby mohla být užitá radiofrekvenční ablace, je nutné splnit následující podmínky:

⁵⁷

- Nádor není větší než pět centimetrů
- Není přítomno více než pět ložisek v játrech

Velmi podobně působí i takzvané kryoablační metody, které naopak využívají nízkých teplot (mínus 35 stupňů Celsia).⁵⁸ Kryoablace, stejně jako podobná metoda radiofrekvenční ablace se užívá především při léčbě povrchových lézí. Bohužel, je nemožné tkáň, která byla chladem zničena, vyšetřit skrz histologii.⁵⁹

⁵⁶ VODIČKA, Josef. Speciální chirurgie. 2., dopl. vyd. Praha: Karolinum, 2014. ISBN 978-80-246-2512-6, s. 199

⁵⁷ VODIČKA, Josef. Speciální chirurgie. 2., dopl. vyd. Praha: Karolinum, 2014. ISBN 978-80-246-2512-6, s. 199

⁵⁸ VODIČKA, Josef. Speciální chirurgie. 2., dopl. vyd. Praha: Karolinum, 2014. ISBN 978-80-246-2512-6, s. 199

⁵⁹ IHNÁT, Peter. Základní chirurgické techniky a dovednosti. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0334-8, s. 31

3.1.1 Příklady praktického využití RF ablace v České republice

V České republice je radiofrekvenční ablace užívána taktéž ke komerčním účelům. Například centrum jednodenní Chirurgie nabízí radiofrekvenční ablací pro léčbu křečových žil.⁶⁰ Nicméně, zájemci o dermatologickou léčbu končetin skrz radiofrekvenční ablací musí sáhnout hlouběji do kapsy – ceny se pohybují v rozmezí od 11 000 Kč do 25 000 Kč za ošetření jedné končetiny.⁶¹

Radiofrekvenční ablace má ve světě řadu využití, je užita například také pro léčbu srdeční arytmie. Radiofrekvenční ablace v léčbě arytmie srdce je nadějí pro pacienty, kterým nepomáhají běžné léky, které mají za cíl arytmiický problém řešit.⁶² V případě srdeční arytmie se radiofrekvenční ablací ničí srdeční tkáň, která je zodpovědná za nepravidelný tlukot srdce.⁶³

Zajisté, je nutno podotknout, že radiofrekvenční ablace se užívá při destrukci tumorů, a to jak maligních tak benigních. Radiofrekvenční ablace či metody z ní vycházející jsou užívány pro mnohé účely.

⁶⁰ Radiofrekvenční ablace RFITT Olympus Celon. Centrum jednodenní chirurgie - Hradec Králové [online]. [cit. 19.06.2018]. Dostupné z: https://www.1chirurgie.cz/radiofrekvencni-ablace-rfitt-olympus-celon.htm?gclid=CjwKCAjwsJ3ZBRBJEiwAtuvtIMNGfJ4XZnvJq14OTm5RCms8kY2Y6FJQg287QS4gr7Gtre6r50OPIBoC8IYQAvD_BwE.

⁶¹ Ceník. Centrum jednodenní chirurgie – Hradec Králové [online]. [cit. 19.06.2018]. Dostupné z: <https://www.1chirurgie.cz/cenik.htm>.

⁶² Co vás čeká při léčbě srdeční arytmie pomocí tzv. radiofrekvenční ablace - Kardiochirurgie. Kardiochirurgie. [online]. [cit. 19.06.2018]. Dostupné z: <https://www.kardiochirurgie.cz/novinky/co-vas-ceka-pri-lecbe-srdecni-arytmie-pomoci-tzv-radiofrekvencni-ablace-115>

⁶³ Co vás čeká při léčbě srdeční arytmie pomocí tzv. radiofrekvenční ablace - Kardiochirurgie. Kardiochirurgie. [online]. [cit. 19.06.2018]. Dostupné z: <https://www.kardiochirurgie.cz/novinky/co-vas-ceka-pri-lecbe-srdecni-arytmie-pomoci-tzv-radiofrekvencni-ablace-115>

3.1.2 Výhody a nevýhody radiofrekvenční ablace

Výhody i nevýhody radiofrekvenční ablace závisí na tom, jaký orgán je konkrétně léčen. Obecně mezi výhody radiofrekvenční ablace patří především:⁶⁴

- Rychlost zákroku (například u léčby srdeční arytmie trvá zákrok okolo jedné hodiny)
- Radiofrekvenční ablace ve většině případů není bolestivá
- Jedná se o minimálně invazivní zákrok (v případě léčby arytmie) či o neinvazivní zákrok (v případě například léčby křečových žil).

Mezi výhody radiofrekvenční ablace v dermatologii patří:⁶⁵

- Nevznikají jizvy ani pigmentace
- Minimalizace poškození okolní tkáně
- Rychlost v léčbě křečových žil
- Ambulantní léčba – rychlost
- Rychlá rekonvalescence

Naopak mezi nevýhody a rizika užití radiofrekvenční ablace patří mimo jiné například, že v dermatologii není zákrok hrazen pojišťovnou a přitom se jeho cena pohybuje mezi 11 000 Kč až 25 000 Kč za ošetření jedné končetiny,⁶⁶ dále, že při léčbě srdeční arytmie může dojít ke vzniku hematomu, trombózy a embolie (avšak to je částečně korigováno léky, např. heparinem) a také vznik přidružených chemických reakcí (krom zničení buněk teplem).⁶⁷

⁶⁴ Co vás čeká při léčbě srdeční arytmie pomocí tzv. radiofrekvenční ablace - Kardiochirurgie. Kardiochirurgie. [online]. [cit. 19.06.2018]. Dostupné z: <https://www.kardiochirurgie.cz/novinky/co-vas-ceka-pri-lecbe-srdecni-arytmie-pomoci-tzv-radiofrekvencni-ablace-115>

⁶⁵ Radiofrekvenční ablace RFITT Olympus Celon. Centrum jednodenní chirurgie - Hradec Králové [online]. [cit. 19.06.2018]. Dostupné z: https://www.lchirurgie.cz/radiofrekvencni-ablace-rfitt-olympus-celon.htm?gclid=CjwKCAjwsJ3ZBRBJEiwAtuvtIMNGfJ4XZnvJq14OTm5RCms8kY2Y6FJQg287QS4gr7Gtre6r50OPIBoC8IYQAvD_BwE.

⁶⁶ Tamtéž.

⁶⁷ HAEMMERICH, Dieter. BIOPHYSICS OF RADIOFREQUENCY ABLATION. BegellHouse Publisher,

3.2 Technicko-teoretický úvod do RF ablace

Radiofrekvenční ablace užívá elektrický proud pro zahřátí a zničení tkáně. Ve většině případů se radiofrekvenční ablace (RF ablace) užívá pro kurativní či paliativní léčbu rakoviny (onkologie), arytmie (kardiologie) či křečových žil (dermatologie).⁶⁸ Spektrum využití RF ablace je velmi široké. Pro RF ablaci jsou důležité čtyři nástroje:

- 1) RF elektroda (čili RF sonda) – nástroj, který fakticky ničí tkáň⁶⁹
- 2) RF generátor – generuje vlastní proud o jistém kmitočtu⁷⁰
- 3) Elektricky uzemněná podložka – pacient na ni leží či je připevněna k jeho hýždí – pro zajištění funkčnosti el. proudu⁷¹
- 4) Kabely, které celé RF ablační zařízení propojují – vedou el. proud, zajišťují fungování a zahřívání RF sondy⁷²

Radiofrekvenční elektroda je vložena na či do tkáně, která má být zničena či ovlivněna. Zdrojem tepelného zařízení je radiofrekvenční generátor (umístěn mimo pacienta), tepelné záření je dopravováno radiofrekvenční elektrodou (sondou) přímo do cílové tkáně. Na pacientově hýždí je umístěna (elektricky) uzemněná podložka (popřípadě na ni pacient leží), a to z důvodu funkčnosti a vzniku elektrického proudu. Z technického hlediska RF ablace užívá radiofrekvenční rozsah generovaný generátorem ve frekvenci od 450 kHz do 500 kHz. Pro lepší představu zde zmíněné obecné grafické znázornění RF ablace lze vidět v grafu č. 1.⁷³

⁶⁸ HAEMMERICH, Dieter. BIOPHYSICS OF RADIOFREQUENCY ABLATION. BegellHouse Publisher, s. 1

⁶⁹ HAEMMERICH, Dieter. BIOPHYSICS OF RADIOFREQUENCY ABLATION. BegellHouse Publisher, s. 2

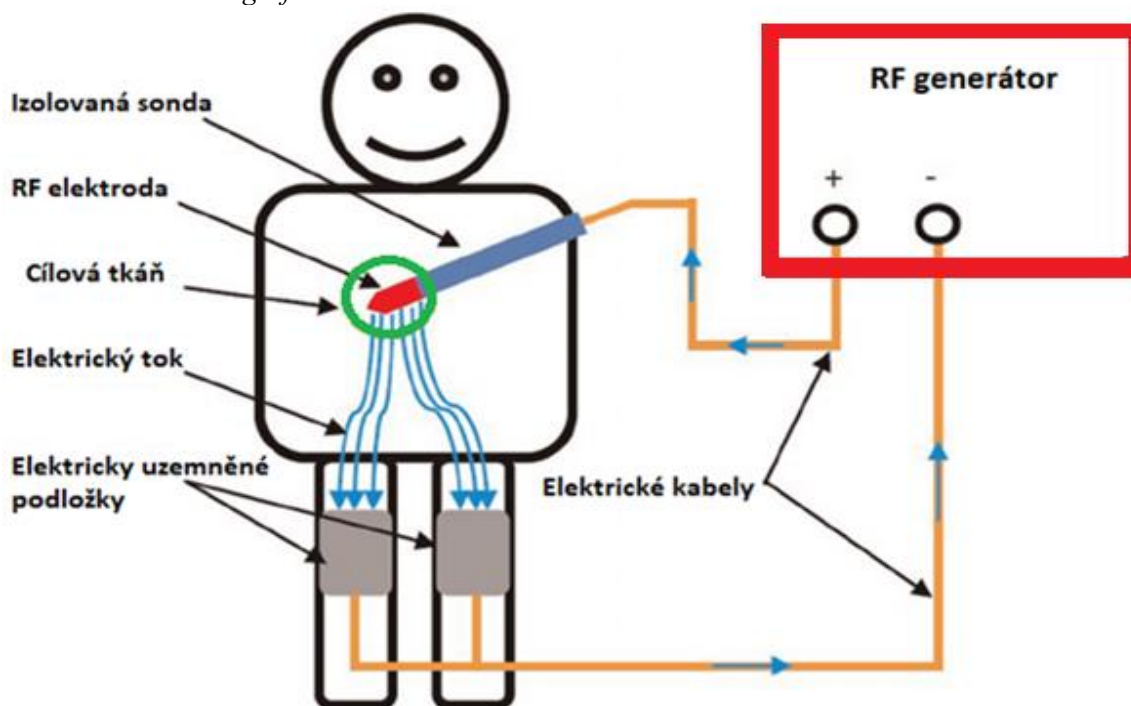
⁷⁰ Tamtéž.

⁷¹ Tamtéž.

⁷² Tamtéž.

⁷³ Tamtéž.

Obrázek 16 Obecné grafické znázornění RF ablace



Zdroj: ZHANG, AJ MOSER, LUO, M ZHANG, 2014 [online]

Na obrázku, který vychází ze studie amerických vědců-lékařů, je zobrazena cílová tkáň zelenou barvou, radiofrekvenční elektroda se jí přímo dotýká (červená barva). Na stehně jsou umístěny elektricky uzemněné podložky pro správnou funkčnost elektrického proudu (šedá barva). Mimo pacienta v červeném obdélníku se nachází RF generátor (také červená barva), který zajišťuje zahřívání RF elektrody skrz el. proud, a to vše je propojeno kabely (oranžová barva). Výsledkem je zjednodušené grafické znázornění obecného principu radiofrekvenční ablace.

3.2.1 Základní teoretické výpočty a vzorce užívané v RF ablaci

Velmi důležitým aspektem elektromagnetického záření obecně je frekvence f uváděná v Hz a vlnová délka λ , která je uváděna v m. Existuje takzvaná jednotka Měrného absorbovatelného výkonu (SAR), která taktéž obsahuje přeměnu přicházejících elektromagnetických vln v tkáni na formu tepelné energie – tepla.⁷⁴ V České republice se měrný absorbovatelný výkon vyskytoval například v Nařízení vlády č. 480/2000 Sb., které udávalo maximální možné limity.⁷⁵ Vzorec pro měření elektromagnetického záření uvádím zde:⁷⁶

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{\rho} \frac{dW}{dV} \right) \quad \text{[W/kg]} \quad (2)$$

Limit pro SAR je 0,08 W/kg pro běžného člověka. Tyto limity musí být splněny například výrobci mobilních telefonů, které taktéž mohou určitým způsobem zahřívát okolní tkáň např. při telefonování.⁷⁷

Mezi další důležité vzorce pro výpočty související s RF ablací, je zařazena například také soustava vzorců Jamese Clerka Maxwella, které jsou teoretickým základem pro

⁷⁴ Řehák Martin. Působení elektromagnetického pole velkého výkonu na biologický systém [cit 19-06-2018]. [online]. Dostupné z: <http://www.rayer.g6.cz/elektro/sembup/sembup.htm>.

⁷⁵ ČR. 480/2000 Sb. Nařízení vlády o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-480>.

⁷⁶ Řehák Martin. Působení elektromagnetického pole velkého výkonu na biologický systém [cit 19-06-2018]. [online]. Dostupné z: <http://www.rayer.g6.cz/elektro/sembup/sembup.htm>.

⁷⁷ ČR. 480/2000 Sb. Nařízení vlády o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-480>.

elektromagnetické pole. Maxwell totiž jako první předpověděl a teoreticky pracoval s elektromagnetickými vlnami a polem (které jsou také užity v RF terapii):⁷⁸

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, & \operatorname{div} \vec{D} &= \rho \\ \operatorname{rot} \vec{H} &= \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{j}, & \operatorname{div} \vec{B} &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Přenos energie v elektromagnetickém poli můžeme vyjádřit pomocí Poyntingovým vektorem toku energie:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad \left[\frac{\text{V}}{\text{m}^2} \right] \quad (4)$$

Kde velikost vektoru \vec{E} (el. intenzita) a vektoru \vec{H} (mag. intenzita) udávají energii, která projde za jednotkou času jednotkovou plochou kolmou ke směru šíření.

$$S_1 = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left(\vec{E} \times \vec{H} \right) \quad \left[\frac{\text{V}}{\text{m}^2} \right] \quad (5)$$

Vyjadřující střední hodnotu Poyntingova vektoru.⁷⁹

⁷⁸ PODOLSKÝ J. James Clerk Maxwell a zrození dynamické teorie elektromagnetického pole. [online]. [cit 19-06-2018]. Dostupné z: <http://utf.mff.cuni.cz/popularizace/Maxwell/JEVICK98.pdf>.

⁷⁹ Řehák Martin. Působení elektromagnetického pole velkého výkonu na biologický systém [cit 19-06-2018]. [online]. Dostupné z: <http://www.rayer.g6.cz/elektro/sembup/sembup.htm>.

Při ablaci též definujeme hloubku vniku do živých tkání lidského organismu, která je definována jako vzdálenost, kde intenzita elektrického pole klesne na hodnotu $1/e$ ($e = 2,71828$ základ přirozených logaritmů). Nejčastěji používaná pásma k hloubkovému ohřevu je 350 – 500 kHz.⁸⁰

Rovnice pro výpočet hloubky průniku RF energie, který závisí na elektromagnetické vlně, frekvenci, propustnosti a vodivosti tkáně je následující.⁸¹

$$\delta = \frac{1}{\beta} = \frac{1}{\omega \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot \mu}{2} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\omega^2 \cdot \varepsilon^2}} - 1 \right)}} \quad \text{[V/m}^2\text{]} \quad (6)$$

Kde

$$\omega = 2\pi f$$

$$\delta = \text{hloubka vniku [m]}$$

$$\pi = 3,14$$

$$f = \text{frekvence [Hz]}$$

$$\varepsilon = \text{permitivita tkáně [F/m]}$$

$$\mu = \text{permeabilita tkáně [H/m]}$$

$$\sigma = \text{elektrická vodivost [S/m]}$$

⁸⁰ Řehák Martin. Působení elektromagnetického pole velkého výkonu na biologický systém [cit 19-06-2018]. [online]. Dostupné z: <http://www.rayer.g6.cz/elektro/sembup/sembup.htm>

⁸¹ Tamtéž.

3.3 Principy přenosu tepla a RF ohřevu tkání

RF ohřev tkání je založeno na principu tepelných účincích elektrického proudu o frekvenci řádově stovek kHz. Elektrický obvod je uzavřen mezi hrotem katétru a zemní podložkou. Při průchodu elektrického proudu způsobuje pohyb iontů v tkáni a výsledkem je tzv. Joulovo teplo:⁸²

$$Q = U \cdot I \cdot t \quad \left[\text{J} \right] \quad (7)$$

kde Q je velikost Jouleova tepla vznikající ve vodiči kterým protéká elektrický proud I po dobu t , na jehož koncích je napětí U .

Přenos tepla dochází vedením (kondukcí), při kterém částice látky v oblasti s vyšší střední kinetickou energií předají část své pohybové energie částicím s nižší střední kinetickou energií prostřednictvím přímých srážek molekul.⁸³

Fourierův zákon popisuje vedení tepla rovnicí:

$$q = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx} \quad \left[\text{W} / \text{m}^2 \right] \quad (8)$$

Veličina q je vektor hustoty tepelného toku a jednotkou je $\left[\text{W} / \text{m}^2 \right]$. Veličina λ je součinitel tepelné vodivosti mezi hustotou tepelného toku q a záporně vzatým teplotním gradientem $-\frac{dt}{dx}$, jednotkou je $\left[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \right]$.⁸⁴

⁸² ISLAM, MD Mohaiminul a ASADUL ISLAM, Muhammad. Radio Frequency Ablation of Liver Tumor- Influence of Vein Wall and Location of Large Vessels. Journal of Biomedical Engineering and Medical Imaging. [cit 30-06-2018]. [online]. Dostupé z: <http://scholarpublishing.org/index.php/JBEMi/article/view/3261/2516>.

⁸³ Tamtéž.

⁸⁴ 4 Sálání tepla - radiace. In: POKORNÝ, Marek. Sálání tepla [online]. 2006 [cit. 2018- 06-30]. Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/etext/specialiste

$$\text{grad } t = \frac{dt}{dx} \quad \text{[K / m]} \quad (9)$$

Teplotní gradient se vyznačuje mírou teplotní změny v daném místě a jednotkou je [K / m]

.⁸⁵

3.3.1 Elektrické vlastnosti RF ablace, elektrická implementace RF ablace

V kabelech, RF generátoru a RF elektrodě to je jednoduché, uvnitř fungují volné elektrony jakožto přenašeče proudu, tak jak je obecně známo z teorie o elektrické energii.⁸⁶ Avšak bohužel, uvnitř živých tkání, které chceme zničit, se nenachází žádné volné elektrony, tudíž v nich na podobném principu fungují iony (Na⁺, K⁺ a Cl⁻), které zajišťují přenos elektrického proudu. Tím, že se přidá elektrický proud, se ionty dají do pohybu a vzniká teplo na podkladě zahřívání el. odporem.⁸⁷

Z hlediska RF ablace je užito především jedné z následujících forem kontroly aplikované výsledné síly, která dorazí k cílové tkáni:⁸⁸

- 1) Kontroly energie (elektrické energie) – proud je nastaven takovým způsobem, aby byl konstantní.
- 2) Kontroly tepla – alespoň jeden senzor tepla, který je umístěn v RF elektrodě, výsledná síla RF je nastavena tak, aby dosahovala takové teploty, která je zachycena senzorem tepla v RF elektrodě.
- 3) Kontroly elektrického odporu – je měřen elektrický odpor mezi elektricky uzemněnou podložkou a RF elektrodou.

⁸⁵ Tamtéž.

⁸⁶ HAEMMERICH, Dieter. BIOPHYSICS OF RADIOFREQUENCY ABLATION. BegellHouse Publisher, s. 2

⁸⁷ Tamtéž.

⁸⁸ HAEMMERICH, Dieter. BIOPHYSICS OF RADIOFREQUENCY ABLATION. BegellHouse Publisher, s. 4

3.4 Elektrická vodivost tkání

Tkáně mají jistou elektrickou vodivost, a to nejen na základě iontů. Elektrická vodivost $\sigma = \frac{1}{m}$ má schopnost přenášet elektrický proud a to závisí na teplotě tkání, koncentraci a specifické povaze iontů.⁸⁹

Studie na pokusných zvířatech ukázala, že tumorové tkáně mají jinou vodivost než tkáně normální (1,25x vyšší el. vodivost u tumorových tkání).⁹⁰ Při zahřívání se také mění elektrické vlastnosti tkání. Při teplotách okolo 100 stupňů Celsia dochází k odpařování tkání, jelikož pára má velmi nízkou elektrickou vodivost. Zároveň je pozorováno zvýšení elektrického odporu.⁹¹

Tabulka 1: Elektrická vodivost tkání, frekvence 500 kHz při RF ablaci.⁹²

Typ tkáně	Elektrická vodivost σ [S/m]
Normální játra	0,36
Játra zasažená tumorem	0,45
Myocardium	0,54
Tuk	0,02
Kost	0,03
Krev	0,7

⁸⁹ ISLAM, MD Mohaiminul a ASADUL ISLAM, Muhammad. Radio Frequency Ablation of Liver Tumor- Influence of Vein Wall and Location of Large Vessels. Journal of Biomedical Engineering and Medical Imaging. [cit 30-06-2018]. [online]. Dostupé z: <http://scholarpublishing.org/index.php/JBEMi/article/view/3261/2516>.

⁹⁰ HAEMMERICH, Dieter. BIOPHYSICS OF RADIOFREQUENCY ABLATION. BegellHouse Publisher, s. 7

⁹¹ Tamtéž.

⁹² Tamtéž.

V tabulce je možno pozorovat, že játra zasažená tumorem mají vyšší vodivost, a to konkrétně 0,45 S/m než normální zdravá játra (0,36 S/m), což tvoří nárůst vodivosti u jater zasažených tumorem o 25 %.

Následující tabulka obsahuje hodnoty elektrické vodivosti vybrané tkáně pro frekvenci do 1 MHz, včetně statistických informací o směrodatné odchylce a rozpětí. Nízkofrekvenční parametry vycházejí z databáze IT IS Foundation.⁹³

Tabulka 2: Vodivost vybraných tkání pro frekvenci do 1 MHz.⁹⁴

Vodivost tkáně σ [S/m]					
Název tkáně	Průměr	Průměrná odchylka	Počet studií	Minimum	Maximum
Játra	2.21E-1	3,52E-1	27	6,37E-2	1,95E + 0
Ledviny	4.03E-1	2.89E-1	7	1.42E-1	9.01E-1
Kůže	1.70E-1	1.13E-1	2	9.00E-2	2.50E-1
Plicní (nafouknutý)	4,64E-1	1.81E-1	28	4.20E-2	7,37E-1
Plíce (vyfouknutý)	5.29E-1	1.70E-1	27	4.18E-2	8,05E-1

⁹³ IT IS FOUNDATION. TISSUE PROPERTIES V4.0. *IT IS Foundation* [online]. [cit. 2018-06-21]. DOI: 10.13099/VIP21000-04-0. Dostupné z: <https://www.itis.ethz.ch/virtual-population/tissue-properties/downloads/>.

⁹⁴ Tamtéž.

3.4.1 Omezení RF ablace při léčbě tumoru jater

Mezi omezení současného užití RF ablace lze přiřadit omezený výkon, pokud se tkáň nachází poblíž velkých a důležitých cév, neadekvátní zobrazovací metody při výkonu RF ablace (CT, Ultrazvuk), RF ablaci lze užít jen u tumorů okolo 3 cm v průměru (omezení velikosti). Taktéž z výše uvedených důvodů je nutno RF ablaci opakovat (například v případě většího tumoru).⁹⁵

Dnešní věda a technika se zabývá především otázkami zvýšení efektivity pre-operačních možností skrz software, vyspělejšími zobrazování během a po RF ablaci a vývoje nových zobrazovacích technik pro RF ablaci.⁹⁶

3.4.2 Nekróza tkání z technického hlediska RF ablace a užití sondy

Rozsah nekrózy (zničení) tkáně je závislý na několika faktorech. Jedním z hlavních faktorů, které ovlivňují rozsah výsledného efektu ablace, a tím i nekrózy tkání, je především teplota, které je dosaženo na sondě (elektrodě). Důležité je vědět, že teplota sondy (na jejím neizolovaném konci) musí dosáhnout alespoň 50 stupňů Celsia pro to, aby se vyvolal efekt nekrózy tkání. Při dosažení 71°C dochází k nekróze tkáně o průměru 1 cm. Při dosažení teploty 80°C dochází k nekróze o průměru 1,6 cm.⁹⁷

Pokud se užije více elektrod, je možno zvětšit rozsah nekrózy tkáně. Nekróza tkáně (to, o co při ablaci jde) při užití více elektrod dosáhne až 3,5 cm. Výsledkem těchto zjištění byl vývoj speciálních sond, které se dnes běžně užívají (např. elektroda – sonda s vysouvateľnými háčky).⁹⁸ Pokud se užijí další výrazné techniky, například takzvané

⁹⁵ HAEMMERICH, Dieter. BIOPHYSICS OF RADIOFREQUENCY ABLATION. BegellHouse Publisher, s. 10

⁹⁶ Tamtéž.

⁹⁷ Komplexní perkutánní léčba maligních procesů v játrech. Linkos: Česká onkologická společnost České lékařské společnosti J. E. Purkyně. [online]. [cit. 19.06.2018]. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/komplexni-perkutanni-lecba-malignich-procesu-v-jatrech/>.

⁹⁸ Tamtéž.

clustery a chlazené elektrody, lze dosáhnout dokonce průměru nekrózy tkání a buněk o rozsahu 4,7 cm až 7 cm.⁹⁹

3.5 Bezpečnost RF ablace

Oficiální webové stránky II. Interní kliniky kardiologie a angiologie Karlovy Univerzity uvádí, že RF ablace je bezpečná metoda, nicméně je také spojena s některými riziky. Příkladem rizik může být:¹⁰⁰

- Rentgenové záření: především u těhotných žen může vést k deformaci plodu, proto je před zákrokem vyžadován negativní těhotenský test (u žen v reprodukčním věku).¹⁰¹
- Místo zavedení sondy: vznik hematomů.¹⁰²
- Odstranění zavaděčů cév: u citlivých jedinců může proběhnout změna krevního tlaku.¹⁰³
- Vzácné komplikace: poškození převodního systému srdce, embolie, poranění bráničního nervu či zavedení infekce do krevního oběhu.¹⁰⁴

Výše popsané rizika se týkají ošetření arytmií RF ablací. Nicméně je důležité říci, že záleží na tom, jaký orgán a v jakém rozsahu je RF ablací ošetřován. Každá lékařská procedura s sebou nese jistá rizika.

⁹⁹ Komplexní perkutánní léčba maligních procesů v játrech. Linkos: Česká onkologická společnost České lékařské společnosti J. E. Purkyně. [online]. [cit. 19.06.2018]. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/komplexni-perkutanni-lecba-malignich-procesu-v-jatrech/>.

¹⁰⁰ Elektrofyzilogické vyšetření a katetrizační ablace - II. interní klinika kardiologie a angiologie. II. interní klinika kardiologie a angiologie [online]. [cit. 19.06.2018]. Dostupné z: <http://int2.lf1.cuni.cz/elektrofyzilogicke-vysetreni-a-katetrova-ablace-poruch-srdecniho-rytmu>.

¹⁰¹ Tamtéž.

¹⁰² Tamtéž.

¹⁰³ Tamtéž.

¹⁰⁴ Tamtéž.

4. Citlivost tkání na radiofrekvenční ablaci a jednotlivé jaterní nádory

Následující kapitola popisuje radiofrekvenční ablaci a účinnost na jednotlivé typy nádorů, které se běžně objevují v játrech. Kapitola vychází především z klinických studií, vědeckých článků uveřejněných významnými lékaři v oboru onkologie či radioterapie, zpráv ministerstev a jiných vysoce důvěryhodných zdrojů.

4.1 Nejčastější nádory jater

Nádory jater obecně dělíme na zhoubné nádory a nezhooubné nádory. Na játrech se mohou objevit také například cysty, avšak ty jsou z hlediska povahy textu vynechány.¹⁰⁵

Zhoubné nádory jater se dělí na primární zhoubné nádory a sekundární zhoubné nádory. Primární zhoubné nádory jsou spíše ojedinělé, patří mezi ně:¹⁰⁶

- Hepatocelulární karcinom (HCC)
- Cholangiocelulární karcinom (CCC)

Primární zhoubné nádory jater nejsou tak časté, jako sekundární zhoubné nádory jater. Sekundární nádory jater vznikají především kvůli faktu, že játra jsou jedním z nejdůležitějších orgánů, které se v lidském těle nachází, a existuje určité dvojité cévní zásobní jater, které k „hladkému“ vzniku sekundárních nádorů jater taktéž, bohužel, přispívá.¹⁰⁷ Sekundární nádory jater jsou ve své podstatě metastáze jiných zhoubných rakovinných nádorů do jater.¹⁰⁸ Metastáze „putují“ do jater především skrz bohaté krevní řečiště. Sekundární nádory jater představují skutečnou hrozbu (na rozdíl od některých

¹⁰⁵ EHRMANN, Jiří a Petr HŮLEK. Hepatologie. 2. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-5510-6, s. 444

¹⁰⁶ Tamtéž.

¹⁰⁷ Tamtéž.

¹⁰⁸ Tamtéž.

nezhoubných nádorů jater), mezi sekundární nádory jater se počítají mimo jiné metastáze:

109

- Kolorektálního karcinomu (karcinomy zažívacího traktu) – KRCa
- Karcinomu pankreatu – CaP
- Karcinomu prsu, plic, ledvin a prostaty (vzdálené metastázy do jater)
- Ostatní karcinomy

Mezi nezhoubné neboli benigní nádory jater se počítají především takzvané hemangiomy,¹¹⁰ avšak typů nezhoubných nádorů jater se vyskytuje mnohem více, jedná se především o:

111

- Hemangiomy – u hemangiomů se ve většina případů nepřístupuje k léčbě, může dojít k samovolné regresi, častěji se objevuje u žen než u mužů
- Fokální modulární hyperplazie – hyperplazie se vyskytuje opět častěji u žen než u mužů a opět, stejně jako v případě hemangiomů jater, léčba většinou není potřebná, často totiž dochází k samovolné regresi
- Adenom jater – adenom jater se většinou objevuje bez symptomů, u adenomu jater se ve většině případů provádí chirurgický zákrok především z důvodu existence rizika návratu adenomu jater v maligní – zhoubné, rakovinné – podobě

Radioterapie obecně, taktéž radiofrekvenční ablace se užívá především u zhoubných nádorů, a to jak primárních, tak především také sekundárních (metastází). Z výše popsaných a dostupných informací je jasné, že nezhoubné nádory jater radiační ablaci, radioterapii ani jiný druh (radio)terapie ve většině případů nepotřebují, jelikož nepředstavují výrazné nebezpečí (s výjimkou Adenomu jater, avšak ten se odstraňuje chirurgicky).

¹⁰⁹ EHRMANN, Jiří a Petr HŮLEK. Hepatologie. 2. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-5510-6, s. 444

¹¹⁰ LUKÁŠ, Karel. Gastroenterologie a hepatologie pro zdravotní sestry. Praha: Grada, 2005, s. 189

¹¹¹ Tamtéž, s. 189 – 190.

4.1.1 Základní úvod do léčby tumorů RF ablací

I přes indicie, že se radiofrekvenční ablace užívá u jaterních tumorů do průměru 3 centimetrů, existují jisté výjimky. Například je dokázáno, že byla provedena ablace u tumoru velikosti 8 centimetrů. Je zajímavé, že první známky užití RF ablace putují až do roku 1900.¹¹² Pro zničení jaterních tumorů ablací je užito rozmezí 50 až 250 Wattů el. proudu.¹¹³ Výsledkem působení tepla a el. proudu (60 až 105 stupňů Celsia) dochází k rozpouštění a praskání buněk a tkání, které mají být RF ablací zničeny.¹¹⁴

Radiofrekvenční ablace (popřípadě radiofrekvenční termoablace) patří mezi takzvané termální metody kurativní i paliativní léčby (tepelné metody). Efekt léčby je srovnáván s chirurgickým řešením. Výsledek radiofrekvenční termoablace je výraznější, vzniká mnohem větší koagulační nekróza, než při užití mikrovln (laserová metoda). Užití radiofrekvenční ablace je svázáno s mnohem větším úspěchem a nižšími náklady léčby.¹¹⁵

4.1.2 Citlivost tkání a orgánů na elektrický proud a teplo (dielektrické vlastnosti tkání)

Následující tabulka ukazuje nejnovější výzkumy vodivosti jednotlivých tkání a buněk na elektrický proud vznikající skrz radiofrekvenční ablací. Zdrojem tabulek je podrobná analýza IT IS Foundation, která se zabývá dielektrickými vlastnostmi tkání a svou databázi pravidelně aktualizuje (poslední aktualizace byla provedena v květnu 2018).¹¹⁶ Tabulky ukazují dielektrické vlastnosti vybraných tkání. Jsou zaznamenány především dielektrické vlastnosti jater, ledvin, kůže a plic. Dielektrické vlastnosti, konkrétní naměřené hodnoty výzkumu, jsou zaznamenány formou tabulek jednotlivých frekvencí.

¹¹² Komplexní perkutánní léčba maligních procesů v játrech. Linkos: Česká onkologická společnost České lékařské společnosti J. E. Purkyně. [online]. [cit. 19.06.2018]. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/komplexni-perkutanni-lecba-malignich-procesu-v-jatrech/>.

¹¹³ Tamtéž.

¹¹⁴ Tamtéž.

¹¹⁵ Tamtéž.

¹¹⁶ IT IS FOUNDATION. TISSUE PROPERTIES V4.0. *IT IS Foundation* [online]. [cit. 2018-06-21]. DOI: 10.13099/VIP21000-04-0. Dostupné z: <https://www.itis.ethz.ch/virtual-population/tissue-properties/downloads/>.

Tabulka 3: Dielektrické vlastnosti o frekvenci 120 kHz.¹¹⁷

Frekvence 120 kHz			
Tkáň	Původ	Permitivita $\epsilon \text{ [F/m]}$	Konduktivita $\sigma \text{ [S/m]}$
Játra	Játra	6.84E + 3	8.90E-2
Ledviny	Ledviny	6,96E + 3	1.75E-1
Kůže	Kůže (suchá)	1.12E + 3	5,47E-4
Plíce (nafouknutý)	Plíce (nafouknutý)	2.28E + 3	1,09E-1
Plíce (vyfouknutý)	Plíce (vyfouknutý)	4,55E + 3	2.74E-1

Tabulka 4: Dielektrické vlastnosti o frekvenci 240 kHz.¹¹⁸

Frekvence 240 kHz			
Tkáň	Původ	Permitivita $\epsilon \text{ [F/m]}$	Konduktivita $\sigma \text{ [S/m]}$
Játra	Játra	4,66E + 3	1.12E-1
Ledviny	Ledviny	4,98E + 3	1.94E-1
Kůže	Kůže (suchá)	1.10E + 3	1.38E-3
Plíce (nafouknutý)	Plíce (nafouknutý)	1.50E + 3	1.15E-1
Plíce (vyfouknutý)	Plíce (vyfouknutý)	2,93E + 3	2.87E-1

¹¹⁷ IT IS FOUNDATION. TISSUE PROPERTIES V4.0. *IT IS Foundation* [online]. [cit. 2018-06-21]. DOI: 10.13099/VIP21000-04-0. Dostupné z: <https://www.itis.ethz.ch/virtual-population/tissue-properties/downloads/>.

¹¹⁸ IT IS FOUNDATION. TISSUE PROPERTIES V4.0. *IT IS Foundation* [online]. [cit. 2018-06-21]. DOI: 10.13099/VIP21000-04-0. Dostupné z: <https://www.itis.ethz.ch/virtual-population/tissue-properties/downloads/>.

Tabulka 5: Dielektrické vlastnosti o frekvenci 360 kHz. ¹¹⁹

Frekvence 360 kHz			
Tkáň	Původ	Permitivita $\epsilon \text{ F/m}$	Konduktivita $\sigma \text{ S/m}$
Játra	Játra	3,55E + 3	1.31E-1
Ledviny	Ledviny	4.09E + 3	2.11E-1
Kůže	Kůže (suchá)	1,08E + 3	2,58E-3
Plíce (nafouknutý)	Plíce (nafouknutý)	1.21E + 3	1.19E-1
Plíce (vyfouknutý)	Plíce (vyfouknutý)	2.30E + 3	2.97E-1

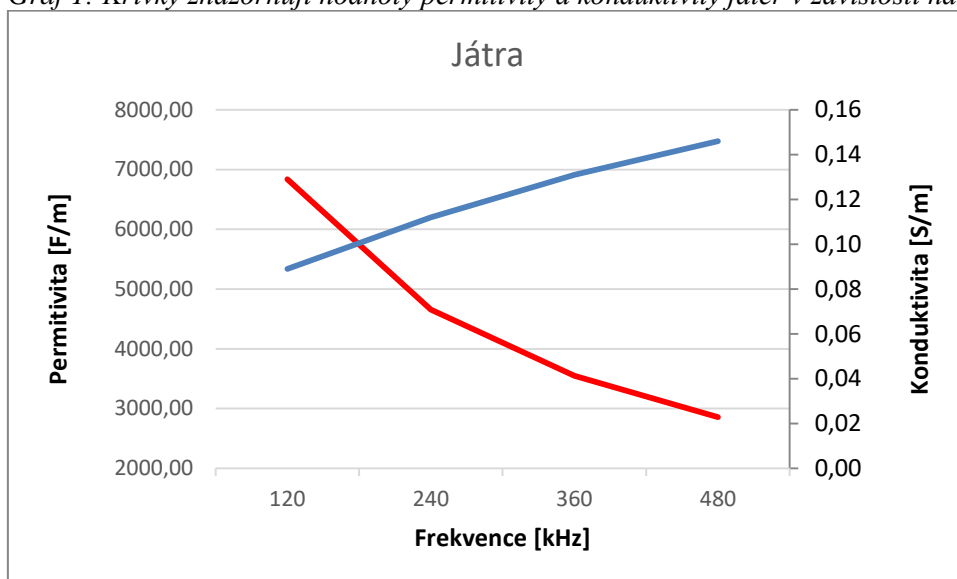
Tabulka 6: Dielektrické vlastnosti tkání o frekvenci 480 kHz. ¹²⁰

Frekvence 480 kHz			
Tkáň	Původ	Permitivita $\epsilon \text{ F/m}$	Konduktivita $\sigma \text{ S/m}$
Játra	Játra	2.86E + 3	1.46E-1
Ledviny	Ledviny	3,52E + 3	2.26E-1
Kůže	Kůže (suchá)	1,06E + 3	4.09E-3
Plíce (nafouknutý)	Plíce (nafouknutý)	1,05E + 3	1.22E-1
Plíce (vyfouknutý)	Plíce (vyfouknutý)	1.93E + 3	3.06E-1

¹¹⁹ IT IS FOUNDATION. TISSUE PROPERTIES V4.0. *IT IS Foundation* [online]. [cit. 2018-06-21]. DOI: 10.13099/VIP21000-04-0. Dostupné z: <https://www.itis.ethz.ch/virtual-population/tissue-properties/downloads/>.

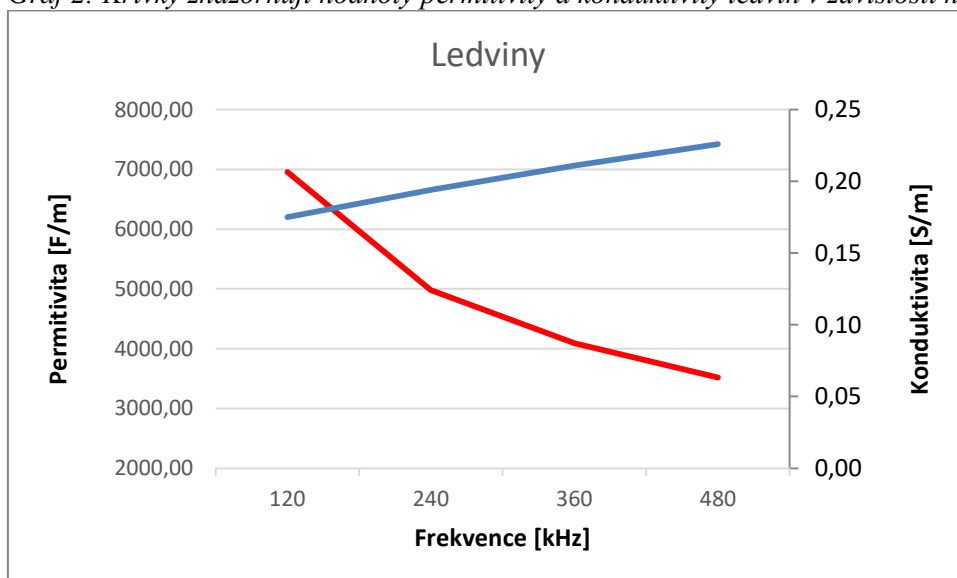
¹²⁰ IT IS FOUNDATION. TISSUE PROPERTIES V4.0. *IT IS Foundation* [online]. [cit. 2018-06-21]. DOI: 10.13099/VIP21000-04-0. Dostupné z: <https://www.itis.ethz.ch/virtual-population/tissue-properties/downloads/>.

Graf 1: Křivky znázorňují hodnoty permitivity a konduktivity jater v závislosti na frekvenci.



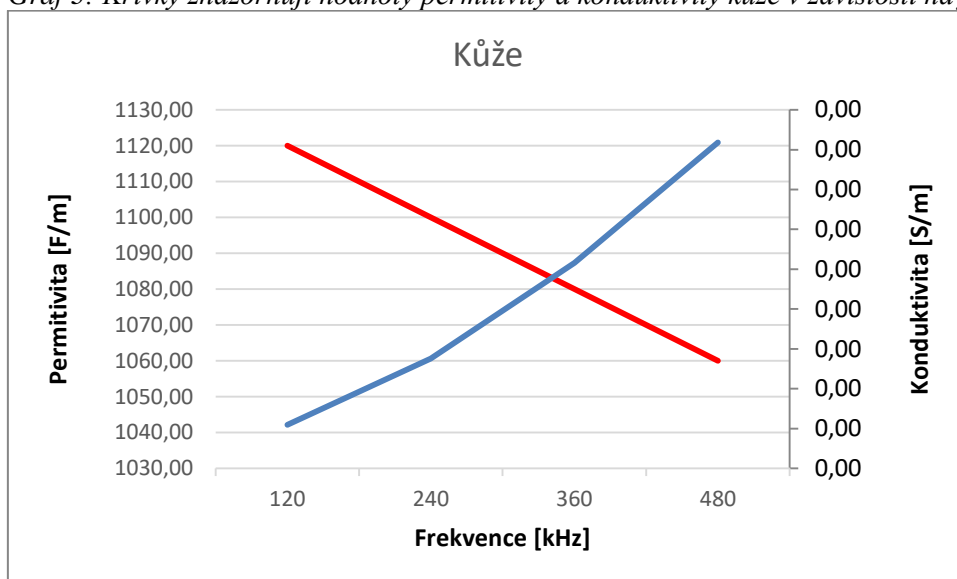
Zdroj: IT IS FOUNDATION. TISSUE PROPERTIES V4.0. *IT IS Foundation* [online].

Graf 2: Křivky znázorňují hodnoty permitivity a konduktivity ledvin v závislosti na frekvenci.



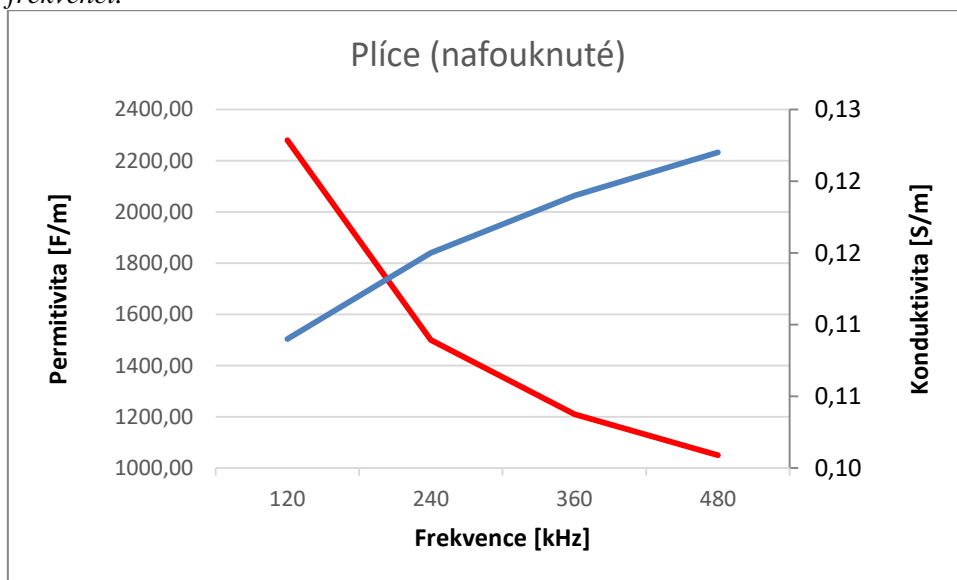
Zdroj: IT IS FOUNDATION. TISSUE PROPERTIES V4.0. *IT IS Foundation* [online].

Graf 3: Křivky znázorňují hodnoty permitivity a konduktivity kůže v závislosti na frekvenci.



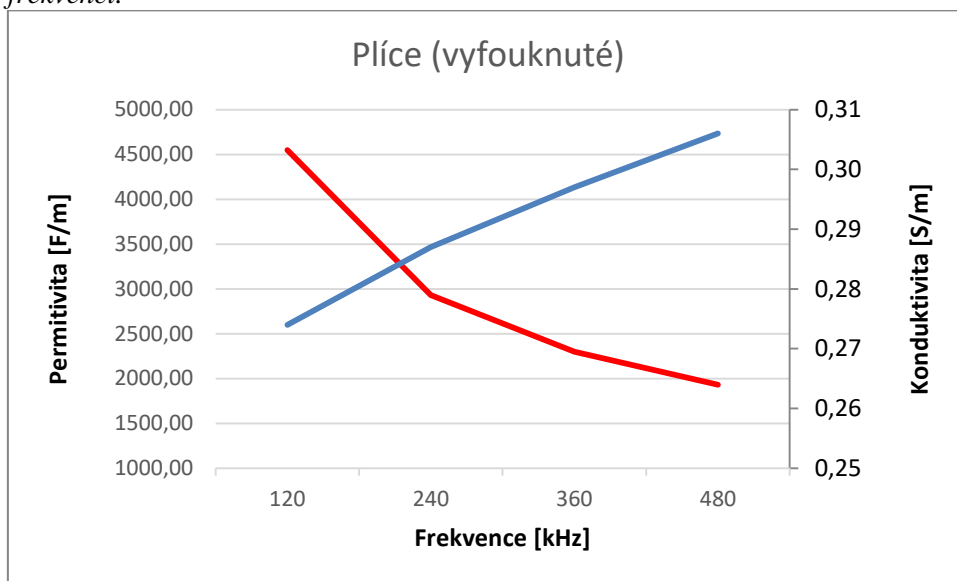
Zdroj: IT IS FOUNDATION. TISSUE PROPERTIES V4.0. *IT IS Foundation* [online].

Graf 4: Křivky znázorňují hodnoty permitivity a konduktivity plic (nafouknuté) v závislosti na frekvenci.



Zdroj: IT IS FOUNDATION. TISSUE PROPERTIES V4.0. *IT IS Foundation* [online].

Graf 5: Křivky znázorňují hodnoty permitivity a konduktivity plic (vyfouknuté) v závislosti na frekvenci.



Zdroj: IT IS FOUNDATION. TISSUE PROPERTIES V4.0. *IT IS Foundation* [online].

Při srovnání předchozích tabulek a grafů si můžeme povšimnout, že hodnota permitivity u všech tkání klesá v závislosti s rostoucí frekvencí a zároveň hodnota měrné elektrické vodivosti roste v důsledku vyšších frekvencí.

Závěr

Radiofrekvenční ablace je minimálně invazivní, bezpečná a účinná léčba k dosažení destrukce sekundárních zhoubných nádorů (metastáz), a to především k odstranění či alespoň zmenšení metastáz. Radiofrekvenční ablace (popřípadě radiofrekvenční termoablace) patří mezi takzvané termální metody kurativní i paliativní léčby (tepelné metody). Efekt léčby je srovnáván s chirurgickým řešením. Je důležité napsat, že každá lidská tkáň má různé vlastnosti. Radiofrekvenční ablace na ni působí jiným stylem. Existují různé vědecké studie popisující vlastnosti tkání, případně vodivost v různých prostředích a s různými nástroji, které jsou pravidelně aktualizovány a dostupné vědecko-lékařské veřejnosti. Přestože ablace se stává stále populárnějším, stále neexistuje žádná technologie termálního zobrazování, která by v klinickém použití monitorovala průběh ablace v reálném čase, aby se mohla regulovat přiměřené množství tepelné energie k destrukci poškozených buněk. Vzhledem k tomu, že během zákroku se nemonitoruje v reálném čase, musejí lékaři a intervenční radiologové spoléhat na kontrolu ultrazvukem, CT nebo MRI. Tato zobrazovací zařízení se obvykle používá k umístění elektrody a monitoruje postup ablace. Současná omezení zahrnují nedostatečné zobrazovací metody, které prodlužují čas na operačním sále. Mohou zvýšit rizika a především náklady během operace. Pokud dojde k neúspěšné léčbě, musí lékaři znovu opakovat zákrok, dokud není tumor zcela zničen. Každý opakovaný zákrok nese zvýšené riziko infekce nebo jiných komplikací a zabere to více času. Pokud budou k dispozici další techniky, které zlepší tyto nedostatky, RF ablace může nahradit klasickou chirurgii jako standardní léčbu rakoviny jater.

Seznam tabulek a grafů

Tabulka 1: Elektrická vodivost tkání, frekvence 500 kHz při RF ablaci.	47
Tabulka 2: Vodivost vybraných tkání pro frekvenci do 1 MHz.	48
Tabulka 3: Dielektrické vlastnosti o frekvenci 120 kHz.	54
Tabulka 4: Dielektrické vlastnosti o frekvenci 240 kHz.	54
Tabulka 5: Dielektrické vlastnosti o frekvenci 360 kHz.	55
Tabulka 6: Dielektrické vlastnosti tkání o frekvenci 480 kHz.	55
Graf 1: Křivky znázorňují hodnoty permitivity a konduktivity jater v závislosti na frekvenci.	56
Graf 2: Křivky znázorňují hodnoty permitivity a konduktivity ledvin v závislosti na frekvenci.	56
Graf 3: Křivky znázorňují hodnoty permitivity a konduktivity kůže v závislosti na frekvenci.	57
Graf 4: Křivky znázorňují hodnoty permitivity a konduktivity plic (nafouknuté) v závislosti na frekvenci.	57
Graf 5: Křivky znázorňují hodnoty permitivity a konduktivity plic (vyfouknuté) v závislosti na frekvenci.	58

Seznam obrázků

Obrázek 1 Elektromagnetické spektrum	14
Obrázek 2 Zobrazení katetrů v srdci při ablaci.....	22
Obrázek 3 Generátor RF energie	23
Obrázek 4 Rozdíl v nastavení generátoru při RFA.....	24
Obrázek 5 Rozdíl mezi standardním a chlazeným katétrem	25
Obrázek 6 Systémy chladicích ablačních katetrů	26
Obrázek 7 Umístění sondy do poškozené tkáně.....	28
Obrázek 8 Rozmístění malých zahnutých elektrod ze sondy do poškozené tkáně	28
Obrázek 9 Ohřev okolní tkáně pomocí rozmístěných elektrod	29
Obrázek 10 Vysunutí sondy z poškozené tkáně	29
Obrázek 11 Typy sond k RFA	30
Obrázek 12 RF generátor využívaný v onkologii.....	31
Obrázek 13 RFA varixů.....	33
Obrázek 14 RFA u varixů.....	34
Obrázek 15 Bipolární sonda	35
Obrázek 16 Obecné grafické znázornění RF ablace.....	41

Seznam použité literatury a dalších zdrojů

4 Sálání tepla - radiace. In: POKORNÝ, Marek. Sálání tepla [online]. 2006 [cit. 2018- 06- 30]. Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/etext/specialiste

A.OKHAI Timothy, J.SMITH Cedric (2013). Principles and Application of RF System for Hyperthermia Therapy, Hyperthermia, Dr. Nagraj Huilgol (Ed.), InTech, DOI:

10.5772/55108. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/hyperthermia/principles-and-application-of-rf-system-for-hyperthermia-therapy>

ADAM, Zdeněk, Jiří VANÍČEK a Jiří VORLÍČEK. Diagnostické a léčebné postupy u maligních chorob. 2., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0896-5.

ALDHOON, Bashar a Josef KAUTZNER .Komplikace katetrizační ablace srdečních arytmií. Intervenční akutní kardiologie. [on-line]. 2013. roč. XII, č. 3, s. 135-140. [cit. 22. 03. 2017]. ISSN 1803-5302. Dostupné z: <http://www.iakardiologie.cz/pdfs/kar/2013/03/07.pdf>

BRYCHTA, Pavel. Estetická plastická chirurgie a korektivní dermatologie. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-0795-2.

Ceník. Centrum jednodenní chirurgie - Hradec Králové [online]. [cit. 19. 06. 2018]. Dostupné z: <https://www.1chirurgie.cz/cenik.htm>.

CETKOVSKÁ, Petra, Karel PIZINGER a Jiří ŠTORK. Kožní změny u interních onemocnění. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-1004-4.

Co vás čeká při léčbě srdeční arytmie pomocí tzv. radiofrekvenční ablace - Kardiochirurgie. Kardiochirurgie. [online]. [cit. 19. 06. 2018]. Dostupné z: <https://www.kardiochirurgie.cz/novinky/co-vas-ceka-pri-lecbe-srdecni-arytmie-pomoci-tzv-radiofrekvencni-ablace-115>.

ČR. 480/2000 Sb. Nařízení vlády o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-480>.

DANNHOFFEROVÁ, Jana. Velká kniha barev: kompletní průvodce pro grafiky, fotografy a designéry. Brno: Computer Press, 2012. ISBN 978-80-251-3785-7

Do cell phones cause any other health problems? © 2017 American Cancer Society [online] 2017 [cit. 15. 03. 2017]. Dostupné z: <https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/radiation-exposure/cellular-phones.html>

EHRMANN, Jiří a Petr HŮLEK. Hepatologie. 2. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-5510-6.

EISENBERGER, Martin, Alan BULAVA a Martin FIALA. Základy srdeční elektrofyzologie a katérových ablací. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3677-8.

ELDER, Joe A. a Daniel F. CAHILL. Biological effects of radiofrequency radiation. Research Triangle Park, N. C.: Health Effects Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, 1984.

Elektrofyzilogické vyšetření a katetrizační ablace - II. interní klinika kardiologie a angiologie. II. interní klinika kardiologie a angiologie [online]. [cit. 19. 06. 2018]. Dostupné z: <http://int2.lf1.cuni.cz/elektrofyzilogicke-vysetreni-a-katetrova-ablace-poruch-srdecniho-rytmu>.

GOLD MH and MP GOLDMAN. Treatment of Wrinkles and Elastosis Using Vacuum-Assisted Bipolar Radiofrequency Heating of the Dermis. *Dermatol Surg.* 2007, s. 900–907. [online] [cit. 20. 03. 2017]. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.15244725.2007.33064.x/abstract;jsessionid=CB0FD54677F2B96C0681BF3320EFB738.f03t02>

GOLDNER, G., WACHTER-GERSTNER, N, WACHTER, S., DIECKMAN, K., JANDA, M., POTTER, R. Acute Side Effects during 3-D-Planned Conformal Radiotherapy of Prostate Cancer. In: *Strahlentherapie und Onkologie*. Urban & Vogel, 2003.

HAEMMERICH, Dieter. BIOPHYSICS OF RADIOFREQUENCY ABLATION. BegellHouse Publisher.

IHNÁT, Peter. Základní chirurgické techniky a dovednosti. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0334-8.

IKEM. Katetrizační ablace arytmií. © IKEM 2006-2011[on-line].[cit. 22. 03. 2017]. Dostupné z: <http://www2.ikem.cz/www?docid=1004017>

Indikace radioterapie. Linkos: Česká onkologická společnost České lékařské společnosti J. E. Purkyně.[online]. ČOS ČLS JEP [cit. 17. 05. 2018]. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/pacient-a-rodina/lecba/jak-se-lecit/radioterapie-ozarovani/indikace-radioterapie/>.

ISLAM, MD Mohaiminul a ASADUL ISLAM, Muhammad. Radio Frequency Ablation of Liver Tumor-Influence of Vein Wall and Location of Large Vessels. Journal of Biomedical Engineering and Medical Imaging. [cit 30-06-2018]. [online]. Dostupé z: <http://scholarpublishing.org/index.php/JBEMi/article/view/3261/2516>.

IT IS FOUNDATION. TISSUE PROPERTIES V4.0. IT IS Foundation [online]. [cit. 2018-06-21]. DOI: 10.13099/VIP21000-04-0. Dostupné z: <https://www.itis.ethz.ch/virtual-population/tissue-properties/downloads/>.

JANÍKOVÁ, Eva a Renáta ZELENÍKOVÁ. Ošetrovatelská péče v chirurgii: pro bakalářské a magisterské studium. Praha: Grada, 2013. Sestra (Grada). ISBN 978-80-247-4412-4.

KASI Venkatesh, Tejas M. Kalyanpur, Kaustubh Narsinghpura. Bipolar radiofrequency-induced thermotherapy of great saphenous vein: Our initial experience. Indian J Radiol Imaging 2012, 86–88. [on-line][cit. 27. 03. 2017]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3498646>

Komplexní perkutánní léčba maligních procesů v játrech. Linkos: Česká onkologická společnost České lékařské společnosti J. E. Purkyně. [online]. [cit. 19. 06. 2018]. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/komplexni-perkutanni-lecba-malignich-procesu-v-jatrech/>.

KRAJÍČEK, Milan, Jan H. PEREGRIN, Miloslav ROČEK a Pavel ŠEBESTA. Chirurgická a intervenční léčba cévních onemocnění. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-0607-8.

KRŠKA, Zdeněk, David HOSKOVEC a Luboš PETRUŽELKA. Chirurgická onkologie. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-4284-7.

Lékařský dům Praha 7. Léčba křečových žil metodou VNUS Closure Fast. [on-line][cit. 27. 03. 2017]. Dostupné z: <http://www.ld.cz/cevni-poradna/vnus-closure-fast/>

LIPSKÁ, Ludmila a Vladimír VISOKAI. Recidiva kolorektálního karcinomu: komplexní přístup z pohledu chirurga. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-3026-4.

LUKÁŠ, Karel. Gastroenterologie a hepatologie pro zdravotní sestry. Praha: Grada, 2005. ISBN 8024712830.

MAZÁNEK, Jiří. Zubní lékařství: propedeutika. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3534-4

Modrá kniha České onkologické společnosti: 6. PRIMÁRNÍ NÁDORY JATER, ŽLUČNÍKU A ŽLUČOVÝCH CEST (C22-24). 24. Brno: Masarykův onkologický ústav, 2018. Str. 39 – 43.

Nemocnice Přerov. Chirurgické oddělení. RFA - léčba varikozit dolních končetin. 2017 © AGEL a.s. [on-line].[cit. 27. 03. 2017].

Dostupné z: <http://nemocniceprerov.agel.cz/pracoviste/oddeleni/chirurgicke-oddeleni/rozsah-pece/rfa.html>

PENHAKER, Marek. Lékařské diagnostické přístroje: učební texty. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN 8024807513.

PODOLSKÝ J. James Clerk Maxwell a zrození dynamické teorie elektromagnetického pole. [online]. [cit 19-06-2018]. Dostupné z: <http://utf.mff.cuni.cz/popularizace/Maxwell/JEVICK98.pdf>.

Příručka k obsluze KARDIÁLNÍ ABLAČNÍ GENERÁTOR S REGULACÍ TEPLoty se 4 nezávislými a současně zobrazovanými kanály, (termočlánek) 1 kanál (termistor) Číslo modelu IBI-1500T11 Verze softwaru 3.0 [on-line].] [cit. 22. 03. 2017]. Dostupné z: <http://www.cardion.cz/file/850/manual-ibi1500t11.pdf>

Radiofrekvenční ablace RFITT Olympus Celon. Centrum jednodenní chirurgie - Hradec Králové [online]. [cit. 19. 06. 2018]. Dostupné z: https://www.1chirurgie.cz/radiofrekvencni-ablace-rfitt-olympus-celon.htm?gclid=CjwKCAjwsJ3ZBRBJEiwAtuvtIMNGfJ4XZnvJq14OTm5RCms8kY2Y6FJQg287QS4gr7Gtre6r50OPIBoC8IYQAvD_BwE.

Radiofrequency ablation: A new, emerging procedure burns cancer cells. Health News and Information - News Medical [online]. [cit. 30.06.2018]. Dostupné z: <https://www.news->

medical.net/news/20180425/Radiofrequency-ablation-A-new-emerging-procedure-burns-cancer-cells.aspx

ROKYTA, Richard. Bolest a jak s ní zacházet: učebnice pro nelékařské zdravotnické obory. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-3012-7.

RTOG/EORTC Late Radiation Morbidity Scoring Schema. RTOG [online]. Dostupné z: <https://www.rtog.org/ResearchAssociates/AdverseEventReporting/RTOGEORTCLateRadiationMorbidityScoringSchema.aspx>.

Řehák Martin. Působení elektromagnetického pole velkého výkonu na biologický systém [cit 19-06-2018]. [online]. Dostupné z: <http://www.rayer.g6.cz/elektro/sembup/sembup.htm>.

SKALICKÝ, Tomáš a Vladislav TŘEŠKA. Radiofrekvenční ablace jaterních nádorů. Praha: Maxdorf, 2006. Jessenius. ISBN 80-7345-063-1.

STÁREK, Zdeněk, Martin EISENBERGER, Libor ZAORAL, Pavel LEINVEBER, Pavel a Miroslav NOVÁK. Radiofrekvenční katetrizační ablace supraventrikulárních tachyarytmií, historie a současnost. Intervenční akutní kardiologie [on-line]. 2006. roč. V, č. 3, s. 122-130. [cit. 22. 03. 2017]. ISSN 1803-5302. Dostupné z: <http://www.iakardiologie.cz/pdfs/kar/2006/03/06.pdf>

SUNG, Ruey J. and Michael R. LAUER. Fundamental approaches to the management of cardiacarrhythmias. Springer, 2000, ISBN 978-0-7923-6559-4

ŠPIČÁK, Julius a Ondřej URBAN. Novinky v digestivní endoskopii. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-5283-9.

TUČEK, Milan, Miroslav CIKRT a Daniela PELCLOVÁ. Pracovní lékařství pro praxi: příručka s doporučenými standardy. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0927-9.

VÁLEK, Vlastimil, Zdeněk KALA a Igor KISS Invazivní lokální léčba metastáz kolorektálního karcinomu. Kolorektální karcinom, 2009, s. 60 – 62. [online] 2017 [cit. 15.03. 2017]. Dostupné z: https://www.mojemedicina.cz/files/leciva/jine-soubory/avastin/invazivni_likalni_lecba.pdf

VÁLEK, Vlastimil, Zdeněk KALA a Igor KISS. Maligní ložiskové procesy jater: diagnostika a léčba včetně minimálně invazivních metod. Praha: Grada, 2006. ISBN 80-247-0961-9.

VÁLEK, Vlastimil, Zdeněk KALA a Igor KISS. Maligní ložiskové procesy jater: diagnostika a léčba včetně minimálně invazivních metod. Praha: Grada, 2006. ISBN 80-247-0961-9.

VELA, Marcelo F. Refluxní choroba jícnu - GERD. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-4063-8.

VÍTOVEC, Jiří a Jindřich ŠPINAR. Farmakoterapie kardiovaskulárních onemocnění. 2. přeprac. a dopl. vydání. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0866-3.

VODIČKA, Josef. Speciální chirurgie. 2., dopl. vyd. Praha: Karolinum, 2014. ISBN 978-80-246-2512-6.

VYSLOUŽIL, Kamil. Komplexní léčba nádorů rekta. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0628-8.

ZHANG, Bing, Michael AJ MOSER, Yigang LUO, Edwin M ZHANG a Wenjun ZHANG. Evaluation of the current radiofrequency ablation systems using axiomatic design theory. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine[online]. 2014, 228(4), 397-408 [cit. 2018-06-30]. ISSN 0954-4119. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0954411914530104>