

# Vysokofrekvenční ohřev tkání

**Biofyzika**

**Doc. Ing. Jana Kolářová, PhD.**

**Ing. Vratislav Harabiš, (PhD.)**

**Ústav biomedicínského inženýrství, VUT v Brně**

# Využití elektromagnetického pole v terapii

- elektromagnetické pole (do  $10^{24}$  Hz) při interakcích se živými objekty biologicky aktivní,
- mechanismus účinků však není v celém tomto frekvenčním pásmu stejný.
  
- aplikace vysokofrekvenčních elektromagnetických polí,
- v oboru KV, VKV i mikrovlnné diatermie,
- vysokofrekvenční proud - k řezání tkání a koagulaci (srážení krve) při krvácení malých cév - elektrotomie

# Elektromagnetické pole

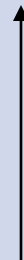
řazeno sestupně podle  $\lambda$ :

- gama záření
- rentgenové záření o vlnových délkách 10 - 0,1 nm,
- ultrafialové záření o vlnových délkách 400 - 10 nm,
- viditelné světlo o vlnových délkách 400 - 800 nm,
- infračervené záření 300 GHz - 400 THz,
- rádiové vlny
  - centimetrové vlny a kratší, (mikrovlnné záření), 3 – 300 GHz,
  - ultra krátké vlny UKV (UHF), 0,3 - 3 GHz,
  - velmi krátké vlny VKV (VHF), 30 - 300 MHz, krátké vlny - KV (HF) 3 - 30 MHz,
  - střední vlny - SV (MW,AM) 0,3 - 3 MHz, dlouhé vlny – DV (LF) < 500 kHz,
  - velmi dlouhé vlny (VLF), 3 - 30 kHz, extrémně dlouhé vlny (ELF), 3 – 3000 Hz.

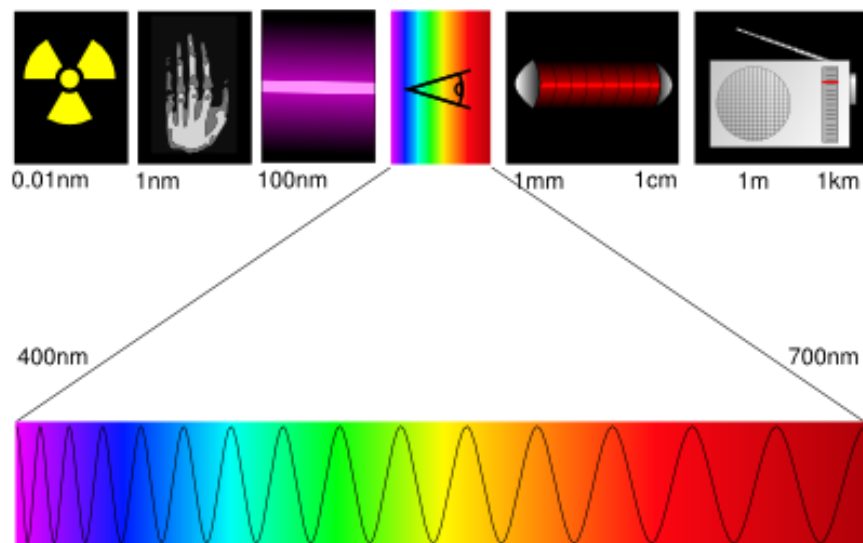
ionizující



neionizující



# Elektromagnetické spektrum



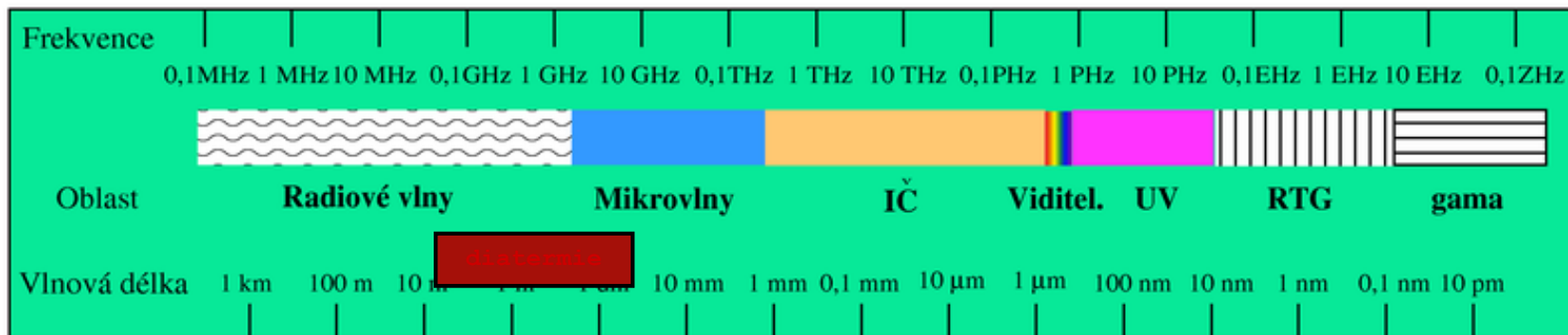
elektromagnetické záření o vlnové délce  $\lambda$  (ve vakuu) má frekvenci  $f$  a jemu připisovaný foton má energii  $E$ . Vztah mezi nimi vyjadřují následující rovnice:

$$\lambda = c/f$$

a

$$E = h \cdot f,$$

kde  $c$  je rychlost světla ( $3 \times 10^8$  m/s),  
 $h = 6.65 \times 10^{-34}$  J·s = 4.1  $\mu$ eV/GHz  
 Planckova konstanta.



# Využití elektromagnetického pole v terapii

- za hraniční je považována frekvence  $10^{12}$  Hz,
- účinky  $\sim$  frekvence, energie aplikovaného vlnění,
  - minimální energie potřebná k ionizaci v přírodě je  $10 \div 25$  eV (ne záření laseru),
- terapeutické aplikace elektromagnetická pole krátkých a velmi krátkých vln s výkony vyhovujícími hygienickým normám
- „Nařízení vlády o ochraně zdraví před neionizujícím zářením č. 480/2000Sb“  
nejvyšší přípustné hodnoty měrného absorbovaného výkonu (SAR) v pásmu frekvencí od 100kHz do 10GHz
  - pro zaměstnance 0,4W/kg
  - pro obyvatelstvo 0,08W/kg ... uvedeno pro 6 minutové intervaly

# Využití elektromagnetického pole v terapii

elektromagnetické pole obecně třídíme podle nejrůznějších kritérií respektujících

- způsob generování,
- rozložení v prostoru,
- časový průběh,
- polarizaci,
- vyzářený výkon, vlnovou délku.

# Vlastnosti tkání v elektromagnetickém poli

- dráždivost tkání organismu při aplikaci elektromagnetických polí buzených harmonickými signály je omezena frekvencí 100 kHz
- při vyšších frekvencích nereaguje již žádná tkáň na podráždění elmg. polem ani při hustotách v  $A/cm^2$
- předávaná energie se mění v teplo (Jouleův zákon).

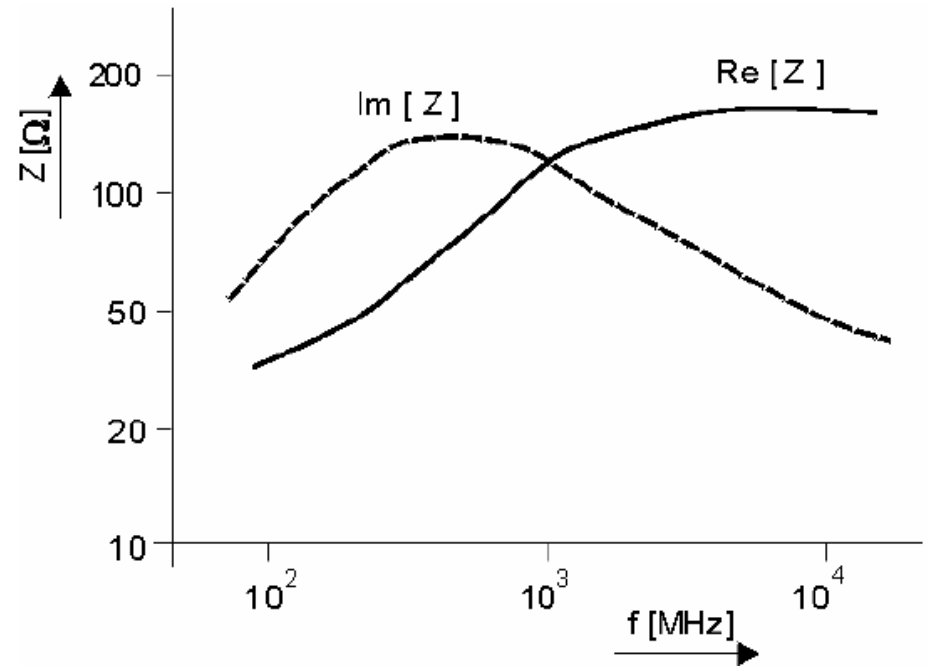
# Impedance tkáně

- tkáň ~ vrstevnaté nehomogenní dielektrikum charakterizované
  - komplexní vodivostí
  - komplexní permitivitou
  - komplexní permeabilita

$$\sigma_k = \sigma + j\omega\varepsilon$$

$$\varepsilon_k = \varepsilon - j(\sigma / \omega)$$

$$\mu_k = \mu_0$$





# Fyziologické účinky elektromagnetických polí

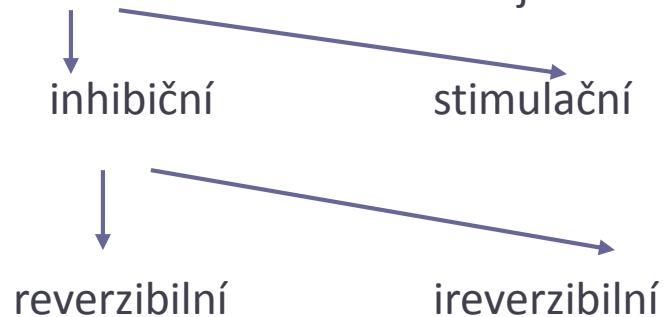
- fyziologické účinky elmg. polí nejsou dosud plně objasněny. (aplikace experimentálně získaných dat pro potřeby klinické praxe),
- bylo prokázáno, že závisí na řadě objektivních, ale i subjektivních faktorů
  - fyzikální parametry
    - pracovní frekvence,
    - velikost intenzit,
    - doba aplikace,
    - charakter pole (spektrum budícího signálu),
  - fyzikálně chemické vlastnosti organismů
    - velikost, hmotnost, charakter povrchu (oděv),
    - tloušťka ozařovaných vrstev,
  - okamžitý stav organismu, zdraví fyzické i psychické, ...

# Fyziologické účinky elektromagnetických polí

- vlastní interakci elmg. polí s biologickými systémy však zásadně hodnotíme jako:

- pasivní -  $\lambda \ll$  velikost objektu,

- aktivní -  $\lambda \sim$  velikost objektu:



# Citlivost organismu

- hraniční práh citlivosti lidského organismu na energii elmg. pole byl stanoven **výkonovou hustotou**

tkáně:  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  ( $10^{-10} \text{ } \mu\text{W/cm}^2$ ),

nervová centra:  $1 \text{ mW/m}^2$  ( $0,1 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$ ),

- experimentálně ověřeno studiem specifických receptorů
- zrak a sluch,

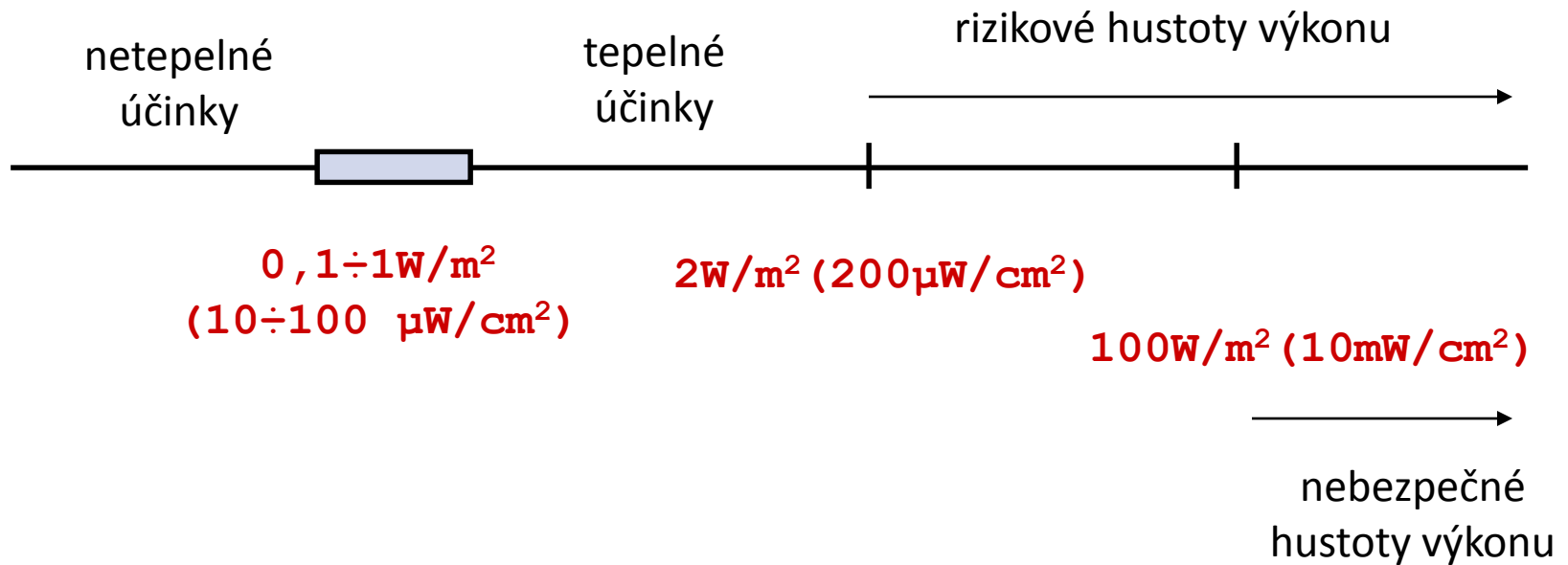
- lidský organismus však nemá receptory pro vnímání elektrického, magnetického, elektromagnetického ani ionizujícího záření

# Citlivost organismu

- účinky polí jsou vnímány tkáněmi organismu a regulačními mechanismy,
- živé tkáně reagují nejvýrazněji v mikrovlnné oblasti pole,
- spojitá ani impulsová pole do hustot  $10 \text{ W/m}^2$  ( $1 \text{ mW/cm}^2$ ) organismy nepoškozují, dochází dokonce k částečné adaptaci organismu bez výrazných tepelných projevů

# Citlivost organismu

- velikost elmg. pole
- fyzikální jevy absorpce a indukce.



# Projevy účinků elektromagnetického pole

## I tepelné účinky

teplota ozařované tkáně závisí

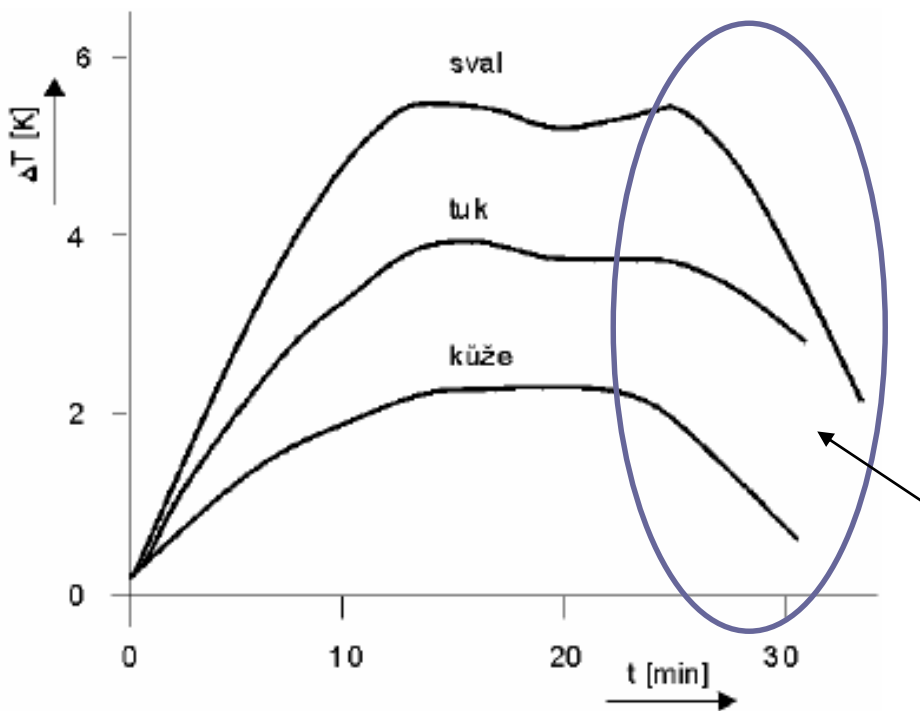
- na velikosti pohlcené energie,
- na hloubce, ve které se záření absorbuje.

↑  $f_{\text{pracovní}}$  - ↓ **hloubka** vniku vlnění do tkáně

výsledný tepelný efekt je závislý na

- rozměru,
- tvaru biologických struktur,
- na možnostech jejich ochlazování protékající krví či odvodu tepla z povrchu těla, (termoregulační mechanismus organismu)

# Projevy účinků elektromagnetického pole



průběh změn teploty  
typických tkání při ozáření  
elmg. polem

adaptační schopnost  
organismu  
=termoregulace

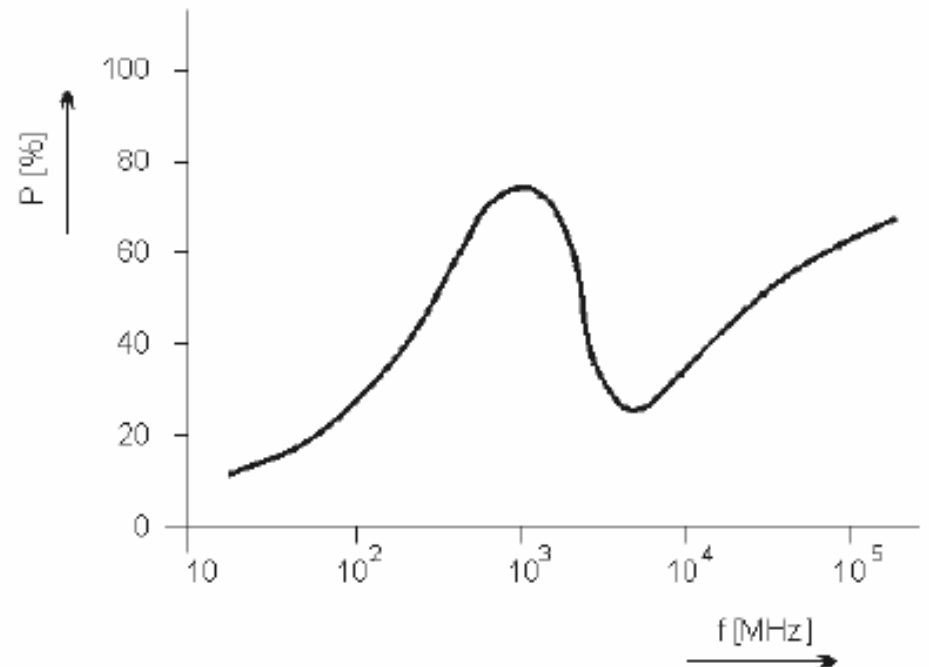
- oteplení tkání v závislosti na expozici

# Projevy účinků elektromagnetického pole

z fyziologického hlediska rozlišujeme konstituční typy:

- **tepelně sytý typ**, což je organismus, který na teplo rychle reaguje, ale špatně ho snáší,
- **tepelně hladový typ**, který má těžší reakce, ale větší tepelnou toleranci.

- závislost absorbovaného výkonu na frekvenci





# Projevy účinků elektromagnetického pole

## II netepelné účinky

- elmg. pole (vyšší frekvence )  
→ ionizující záření → záření, jehož kvanta mají natolik vysokou energii, že jsou schopna vyrážet elektrony z atomového obalu a tím látku ionizovat,
- změna vlastností buněčných membrán  
- permeabilita a dráždivost,
- indukční jevy se uplatňují na vodivých částech organismu:  
centrální a autonomní nervový systém, kardiovaskulární systém, sekreторický (vyměšující) aparát a endokrinní soustava

# Vliv ionizujícího záření na organismus

- pro všechny typy záření platí, že poškození tkáně může vyvolat jen ta část energie záření, která je tkání pohlcena,
- právě ionizující účinky záření se podílejí na poškození organismu.

poškození tkáně závisí na :

- druhu záření,
- velikosti pohlcené dávky a jejím rozložení v organismu,
- na době ozařování,
- na individuální citlivosti ozářené osoby.
- → radioterapie

# Biologické účinky elektromagnetického pole

- dlouhodobé ozařování elmg. polem o malých výkonových hustotách se projevuje především na stavu CNS.
  - subjektivní stesky astenického typu (tělesné slabosti): vyčerpání, únava, pokles koncentrace pozornosti, poruchy spánku, bolesti hlavy ap.
  - objektivně se zjistí třes prstů v předpažení, zvýšená potivost, lámání nehtů, padání vlasů.
- biologické účinky elmg. polí i podprahových hustot absorbovaného výkonu jsou **kumulativní**
  - poškození očí po přímém ozáření,
  - poruchy krevního oběhu se projevují zvýšeným průtokem, snížením tlaku krve, změnou tepové frekvence.

# Krátkovlnná diatermie

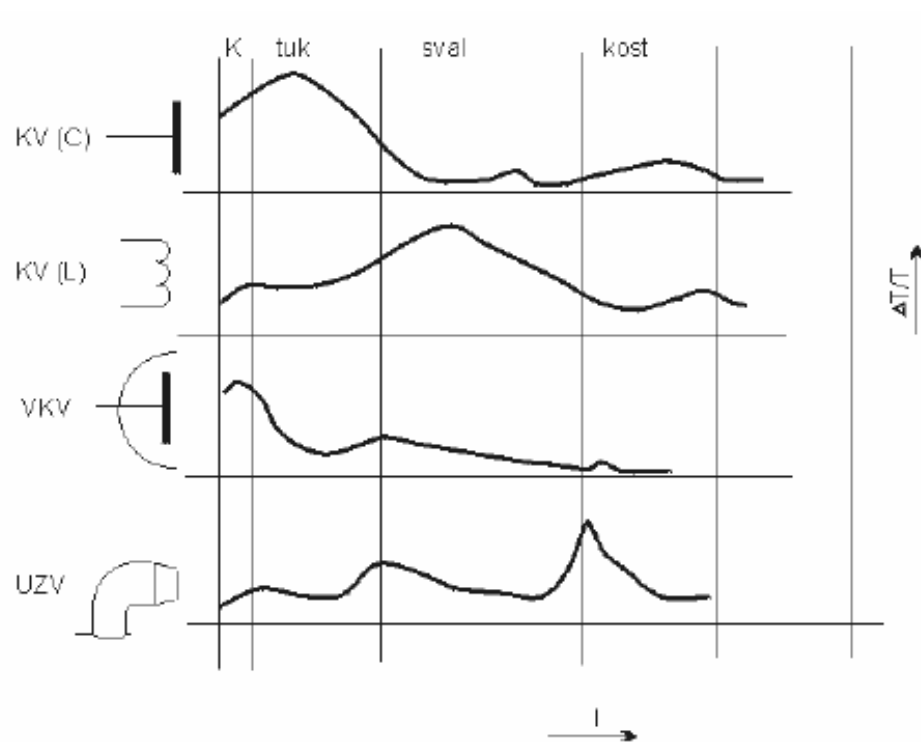
- **diatermie** - vysokofrekvenční ohřev tkání
- podle aplikovaných frekvencí rozdělujeme diatermii

FCC - Federal Communication Council

- krátkovlnnou - 13,56 – 27,12 – 40,68 MHz
- vkv – 433,92 MHz
- mikrovlnnou - 0,915 – 2,45 – 5,80 GHz
  - tolerance pro frekvence  $\pm 0,05 \%$ ,
- aplikované výkony u jednotlivých zařízení bývají v rozmezí 20 ÷ 300 (400) W,
- **terapeutická dávka:** součin výkonu a doby ozařování,
- doba aplikace se pohybuje od 2 do 15 minut.

# Krátkovlnná diatermie

- biologická tkáň - vrstevnaté, nehomogenní dielektrikum.
- použité metody:
  - **kapacitní**  
- klouby a podkoží
  - **indukční**  
- více prokrvené tkáně, (svaly),
- hloubka vniku do tkání se výrazně uplatňuje u vkv diatermie.



rovnání účinků diatermií a ultrazvuku

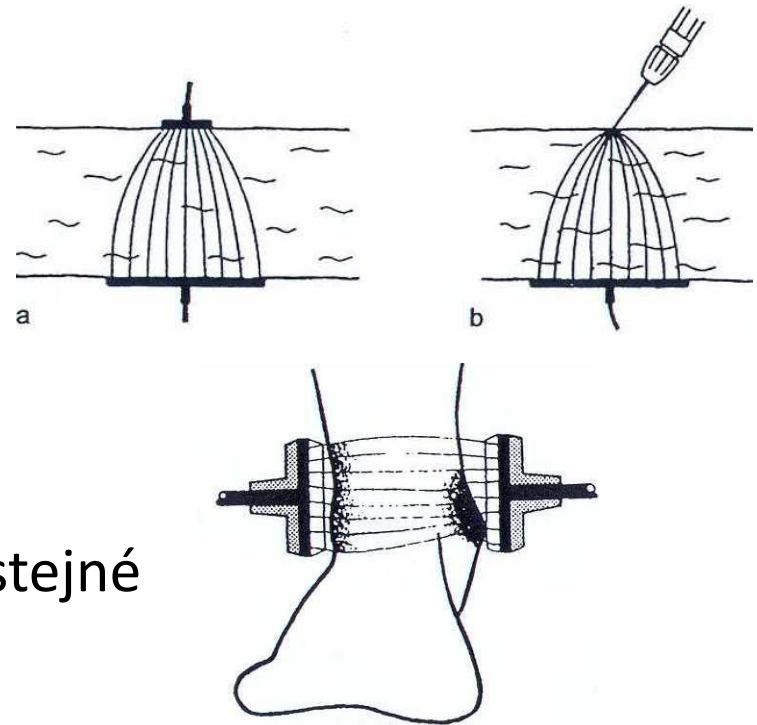
# Kapacitní metoda

- dvě elektrody ~ desky kondenzátoru
- tkáň ~ dielektrikum

vliv asymetrie velikostí elektrod na hustotu siločar el. pole

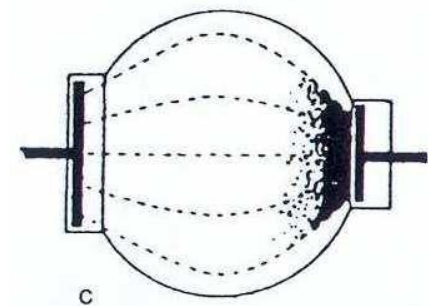
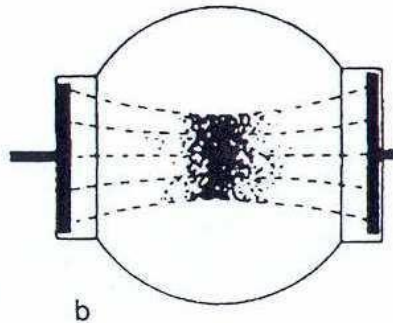
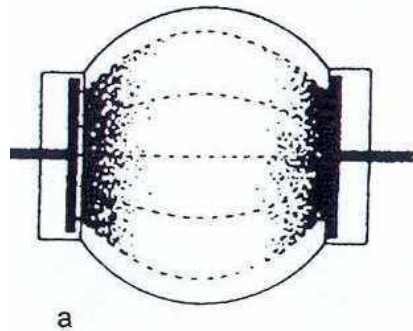
- ohřev pod menší elektrodou
- „elektrický skalpel“

možnost tepelného poškození  
prominujících částí následkem nestejně  
vzdálenosti od elektrody



# Kapacitní metoda

- vliv různé vzdálenosti a velikosti elektrod
  - elektrody blízko kůži – účinek povrchní
  - elektrody vzdálené (kryt elektrody je přímo na kůži) – účinek v hloubce
  - lokalizace účinků pod menší elektrodou, blízko kůži (diferentní elektroda), indiferentní elektroda je větší a dál od kůže



# Kapacitní metoda

nastavení vhodné vzdálenosti elektrod do kůže

vzdálenost	indikace
1 – 2 cm	povrchové vrstvy a podkoží
3 – 5 cm	hlubší vrstvy při rovném povrchu
6 – 10 cm	hlubší vrstvy při nerovném povrchu

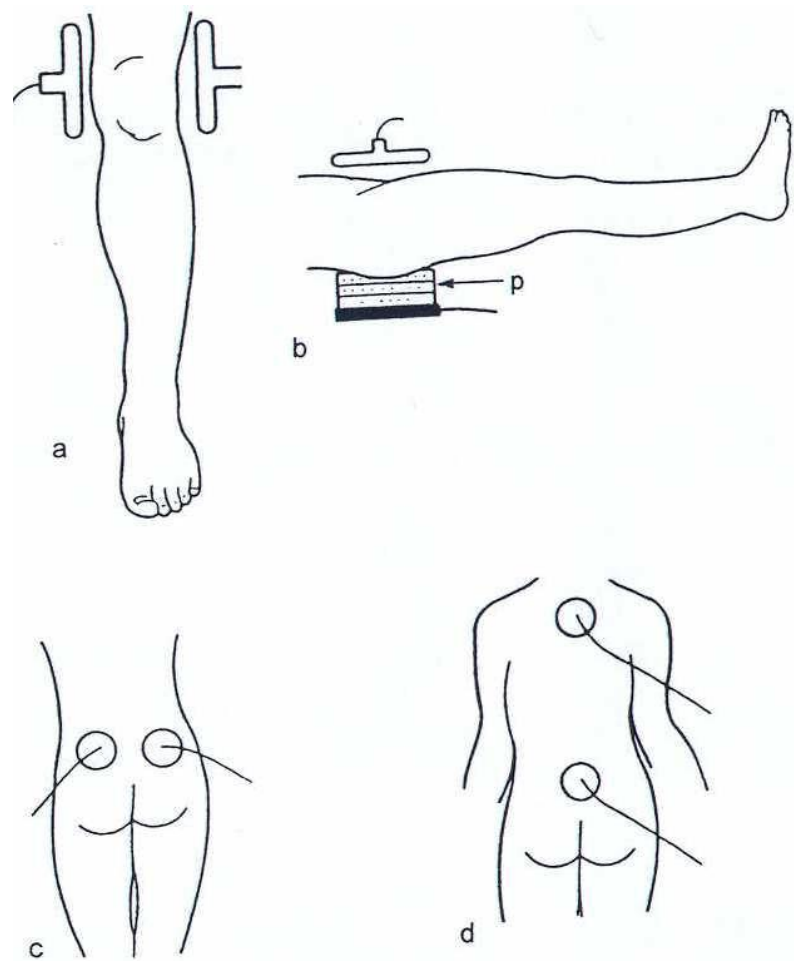
vzájemná poloha elektrod významně ovlivňuje účinek



# Kapacitní metoda

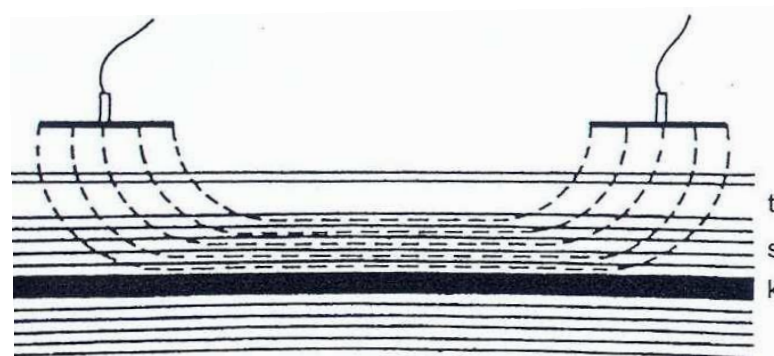
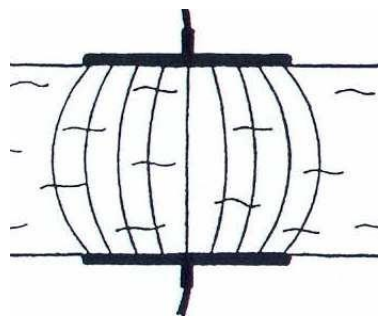
způsoby aplikace:

- příčná lateromediální
- příčná transabdomální s podložkou
- komplanární na segment
- podélná paravertebrální



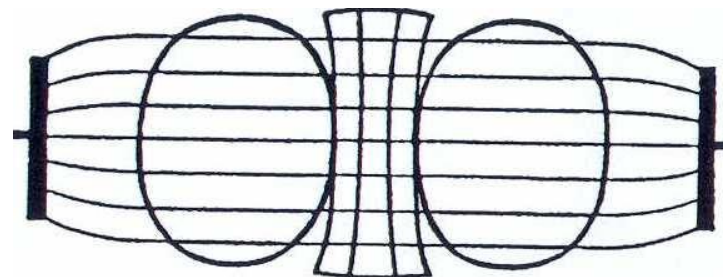
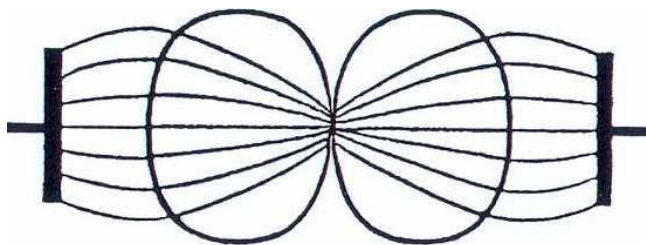
# Kapacitní metoda

průběhy siločar: příčná, podélná (t-tuk,s-sval,k-kost)



př. aplikace na obě kolena

- a. lokální přehřátí v místě dotyku – nebezpečná koncentrace siločar
- b. použití podložky



# Kapacitní metoda

## Aplikace:

- elektrody (kapacitní metoda) - nejbližší dovolená vzdálenost elektrod od kůže – povrchu ohřívaného objektu je 1,5 cm (popálení).
  - konstrukční řešení  
- elektrody ve skleněném či plastovém obalu,
- změna tvaru pole prostupujícího do tkáně:
  - velikostí elektrod  
diskové (průměr 40, 85, 130, 170 mm),  
speciální (vaginální, rektální),  
polštářkové v pryžové izolaci  
(80x140, 120x180, 180x270mm),
  - náklonem,
  - vzdáleností od kůže

# Indukční metoda

## Elektrody:

- kazetové

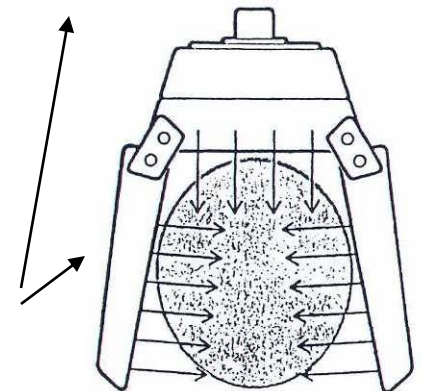
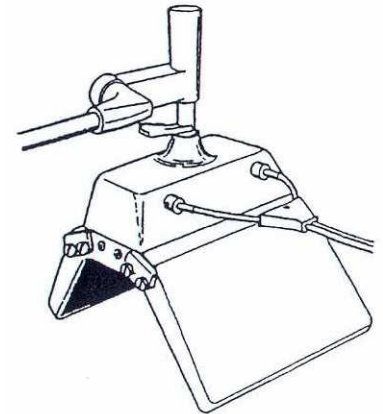
- cívkové

- cívka (několik smyček) umístěna v plastové kazetě kruhového tvaru,  
elektroda bývá používána samostatně (monoda)

- proud je indukován nejvíce pod závitem smyčky,  
nikoliv jejím středem,

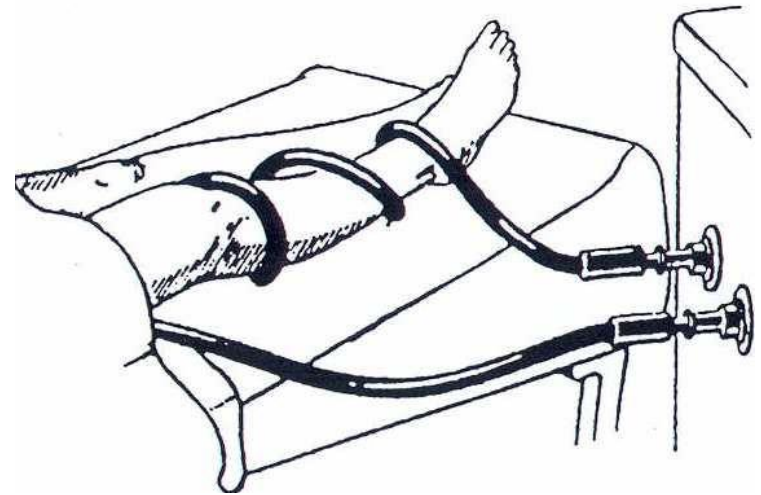
- umístění – dále než 1cm

- žlabové (flexiploda) – maximální přípustná intenzita je nižší než u kruhových elektrod



# Indukční metoda

- indukční kabel
  - mnohonásobně izolovaný vf kabel délky ~3m,
  - jednotlivé smyčky jsou asi 15 cm od sebe, je nutno dbát na případné zatížení krevního oběhu zaškrcením



# Dávkování

- velikost dávek
  - subjektivní podle pocitů pacienta při nastavování výkonu zařízení,
- účinky aplikace se mohou projevit zpožděně
  - existuje riziko poškození ozařovaných tkání či celého organismu,
- pro ozáření biologických tkání elmg. polem vyšších výkonů již také platí podmínky 1. fáze akutní nemoci z ozáření:  
nevolnost, zvýšená teplota, bolest hlavy případně krvácení.

# Konstrukční řešení

- Požadavky (kv nebo vkv diatermie):
  - pracovní frekvence,
  - požadované výkony při aplikacích,
  - komfort pacienta i obsluhy

# Krátkovlnná diatermie: BTL-13

- kontinuální a pulzní krátkovlnná diatermie.
  - nabízí uživateli jednoduchým způsobem aplikaci bezkontaktní krátkovlnné terapie s frekvencí 27,12 MHz
  - pracuje v kontinuálním a pulzním režimu, s frekvencí od 20 do 200 Hz, s délkou pulzu 500 us
  - vysokofrekvenční proud se aplikuje pomocí dvou elektrod o průměru 150 mm
- VYUŽITÍ DIATERMIE: rehabilitace, neurologie, vnitřní lékařství, dermatologie, ORL, gynekologie
- parametry
  - frekvence výstupu 27,12 MHz
  - režim výstupu kontinuální, pulzní
  - frekvence pulzů 20 -- 200 Hz, krok 20 Hz
  - časovač terapie 5 - 30 min., krok 5min
  - elektrody kapacitní
  - průměr elektrod 150 mm
  - příkon max. 600 VA, výkon max. 300 W
  - rozměry 440 x 425 x 440 mm, hmotnost 28 kg





# Krátkovlnná diatermie: BTL-20

- hlavní vlastnosti
  - výkonný generátor
  - kontinuální a pulzní provoz (pro termické a specifické - nete
  - kapacitní i induktivní elektrody
  - vysoký, plynule regulovatelný výstupní výkon
  - snadná výměna aplikátorů
  - vestavěný časovač
- volitelné aplikátory
  - induktivní elektrody (circuplody) s průměrem 80 a 140 mm
  - kapacitní elektrody s průměrem 42, 85, a 130 mm
  - plošné - gumové elektrody 80x140 a 120x180 mm
  - flexiploda s přednastavitelnými zářícími plochami



# Vkv a mikrovlnná diatermie

- Vkv a kv diatermie:
  - vkv diatermie - 433,92 MHz (69cm), využití vzdáleného pole šířící se elmg. vlny,
  - kv diatermie, využití blízké pole šířící se elmg. vlny,
  - impulsní provoz, u kterého se předpokládá pronikání do hloubky tkání či orgánů,
- mikrovlnná diatermie:
  - frekvence 2,45 GHz (12,25 cm) pro ohřev vodivých tkání – svalů, poloviční hloubka vniku je  $10 \div 12$  mm,
  - výkonový vf generátor je osazen magnetronem, aplikátor je tvořen zářičem - anténou v reflektoru (plastový),
  - rozměry zářičů mohou být:
    - kuželové o průměrech  $10 \div 20$  cm,
    - obdélníkové s výstupním oknem  $10 \times 30$  cm,
    - velkoplošné (lomené odrazové zrcadlo)  $5 \div 15$  cm od těla.