

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

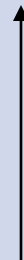
řazeno sestupně podle λ :

- 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.

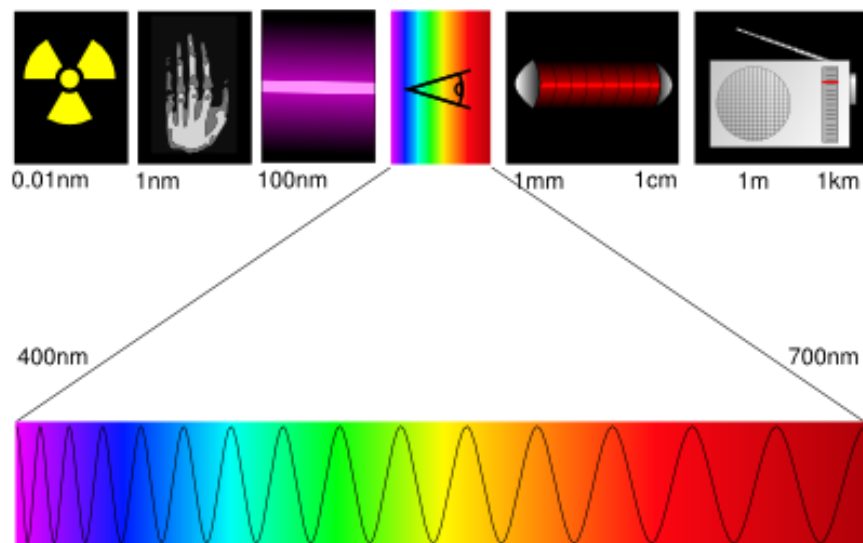
ionizující



neionizující



Elektromagnetické spektrum



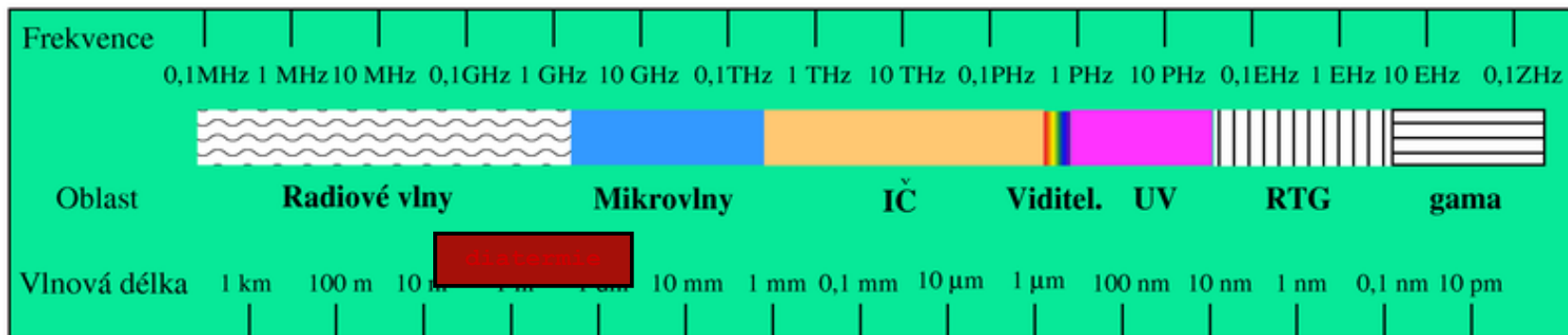
elektromagnetické záření o vlnové délce λ (ve vakuu) má frekvenci f a jemu připisovaný foton má energii E . Vztah mezi nimi vyjadřují následující rovnice:

$$\lambda = c/f$$

a

$$E = h \cdot f,$$

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

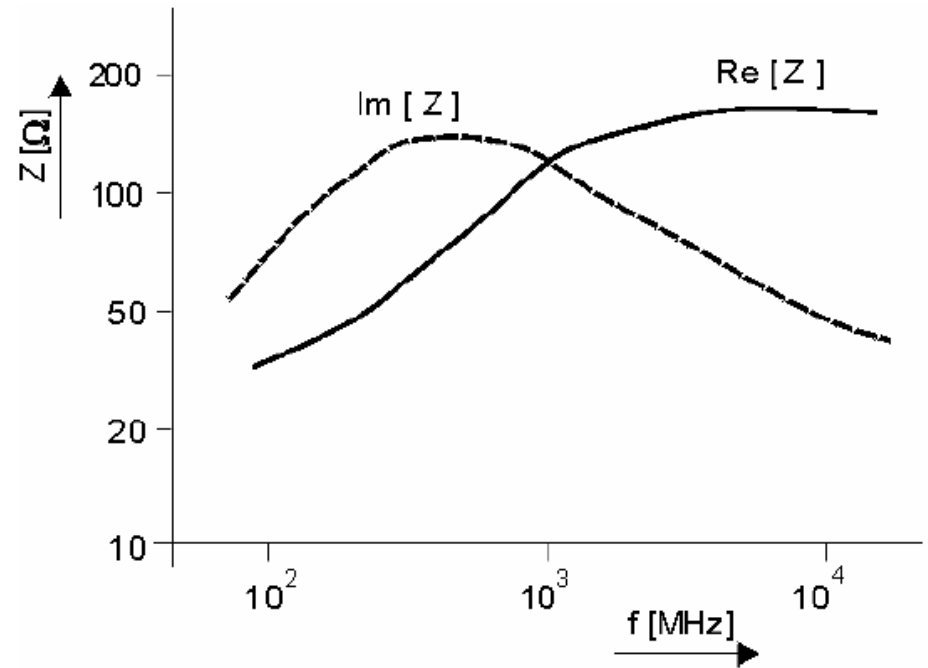
Impedance tkáně

- 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

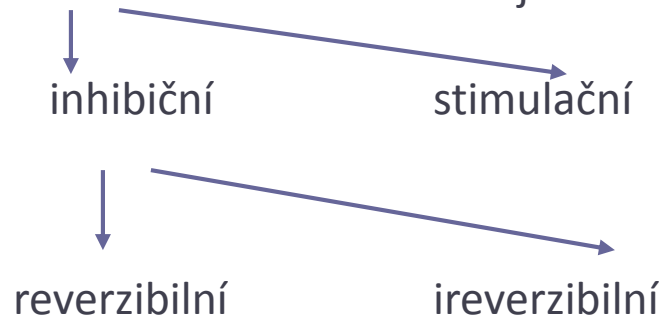
- fyziologické účinky elmg. polí nejsou dosud plně objasněny. (aplikace experimentálně získaných dat pro potřeby klinické praxe),
- bylo prokázáno, že závisí na řadě objektivních, ale i subjektivních faktorů
 - fyzikální parametry
 - pracovní frekvence,
 - velikost intenzit,
 - doba aplikace,
 - charakter 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} W/m^2 ($10^{-10} \text{ } \mu\text{W/cm}^2$),

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

- experimentálně ověřeno studiem specifických receptorů
- zrak a sluch,

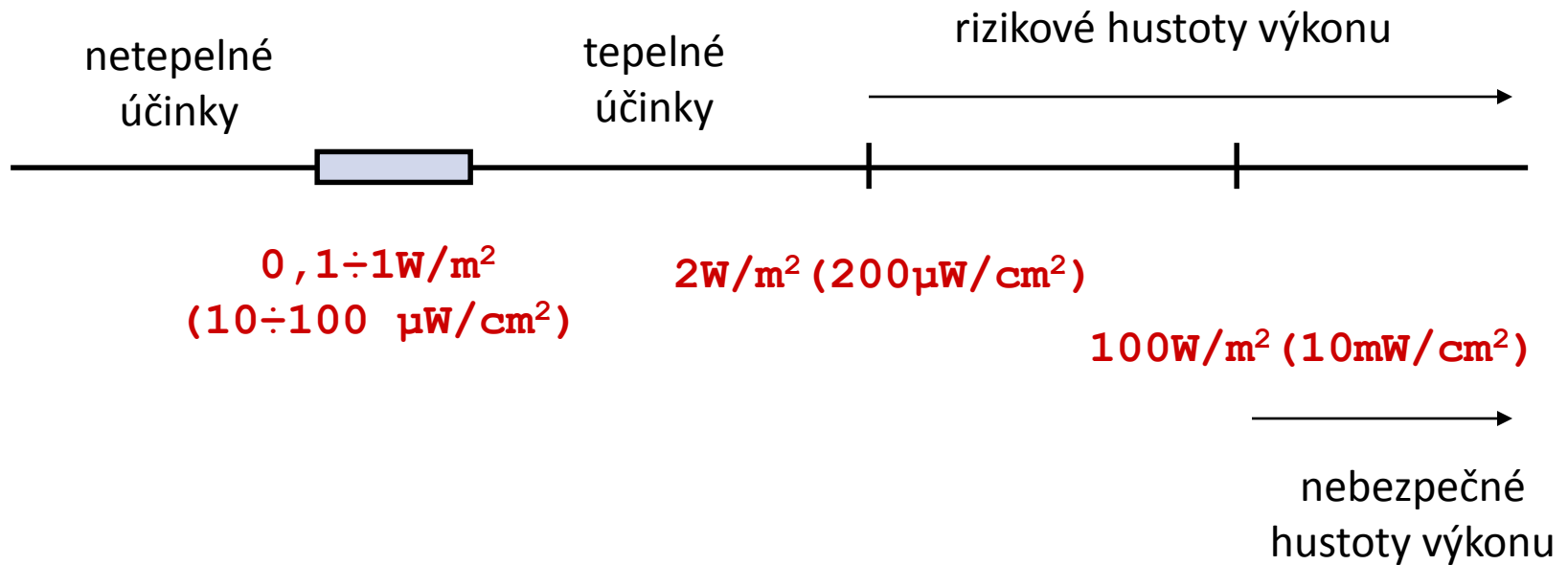
- lidský organismus však nemá receptory pro vnímání elektrického, magnetického, elektromagnetického ani ionizujícího záření

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 W/m^2 (1 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

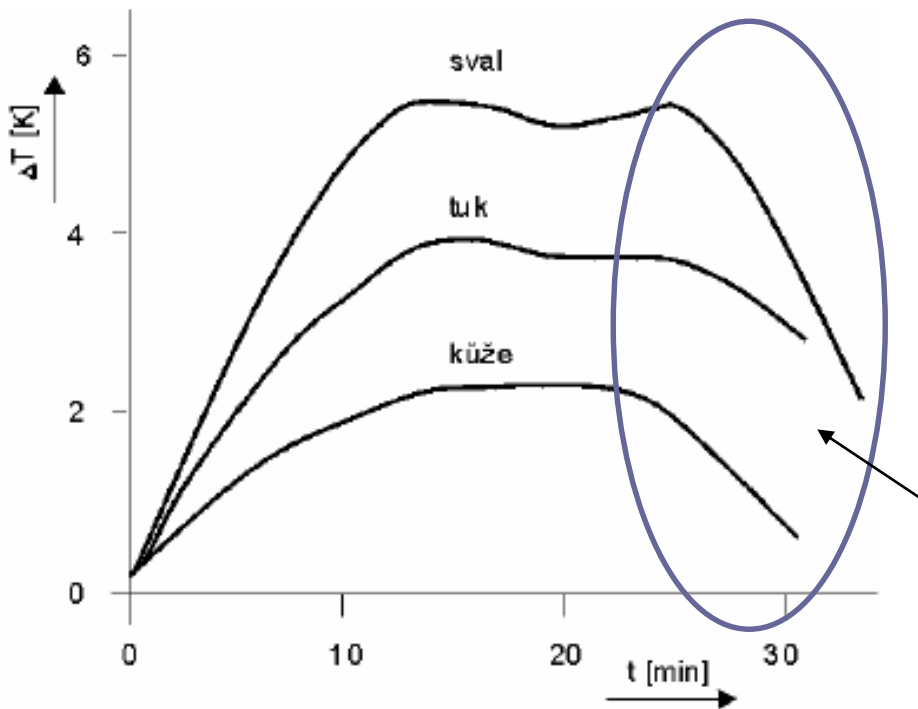
- na velikosti pohlcené energie,
- na hloubce, ve které se záření absorbuje.

↑ $f_{\text{pracovní}}$ - ↓ **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

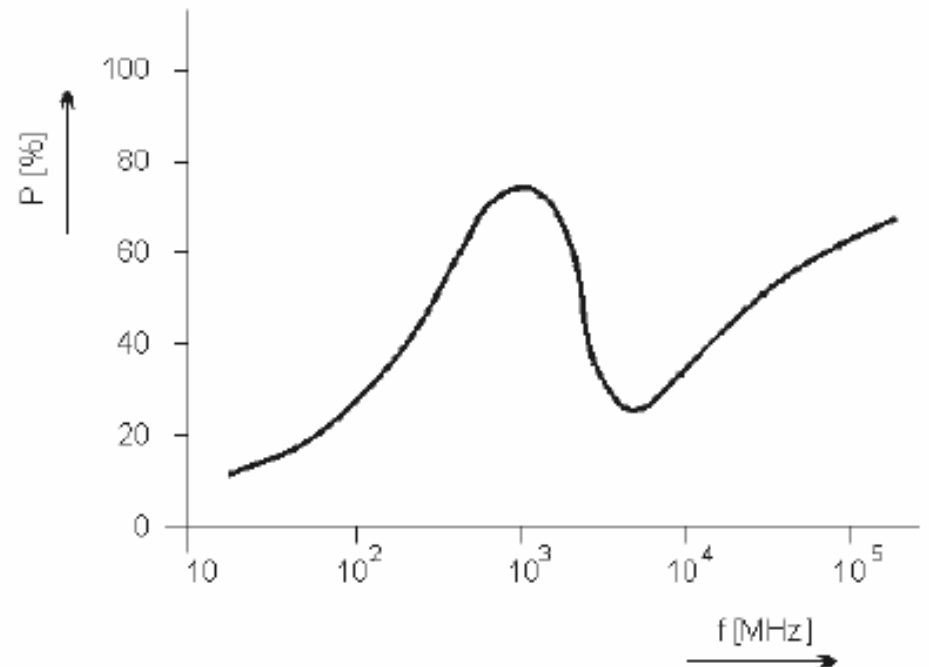
- oteplení tkání v závislosti na expozici

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, sekretorický (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

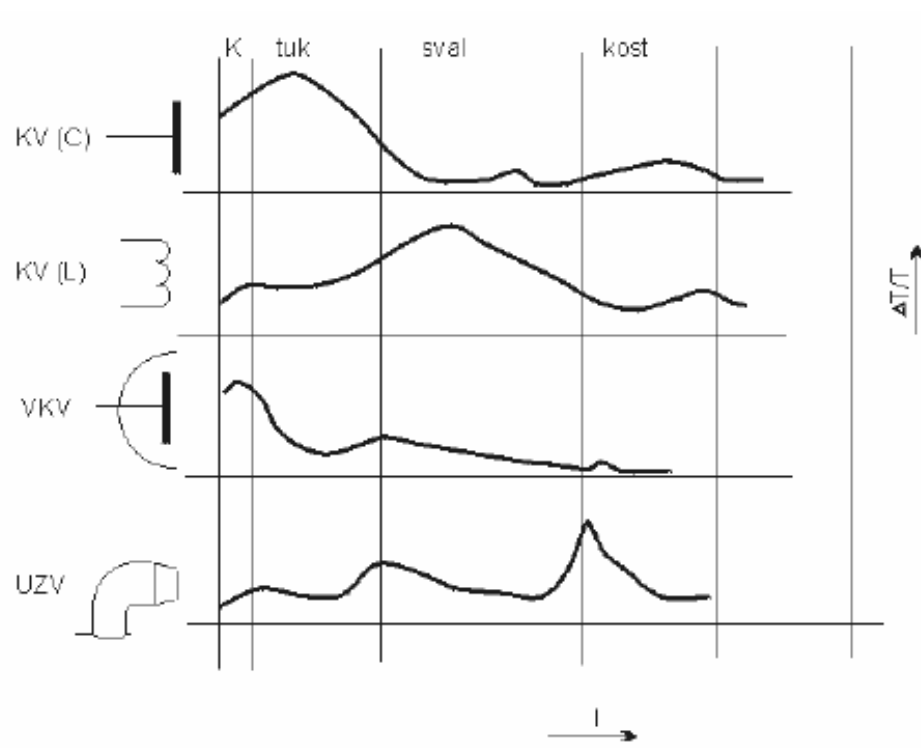
- **diatermie** - vysokofrekvenční ohřev tkání
- podle aplikovaných frekvencí rozdělujeme diatermii

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

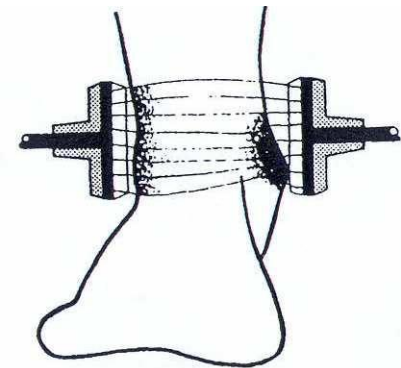
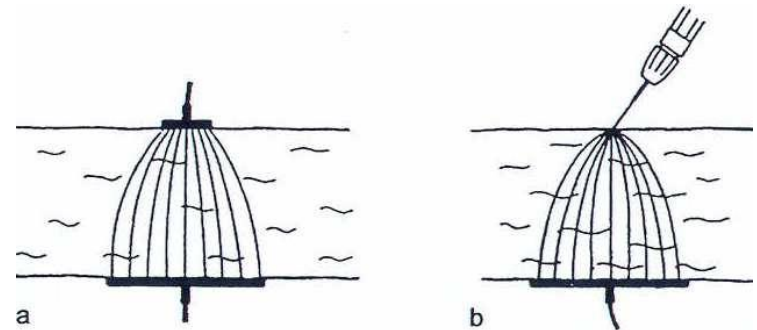
Kapacitní metoda

- dvě elektrody ~ desky kondenzátoru
- tkáň ~ dielektrikum

vliv asymetrie velikostí elektrod na hustotu siločar el. pole

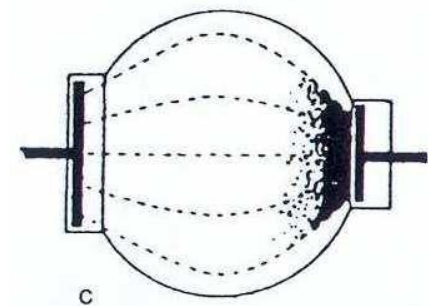
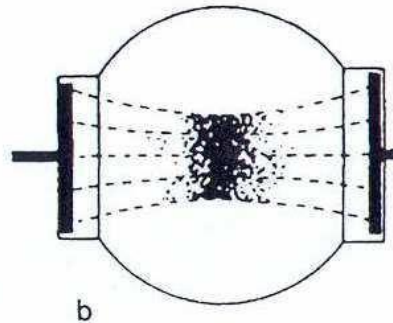
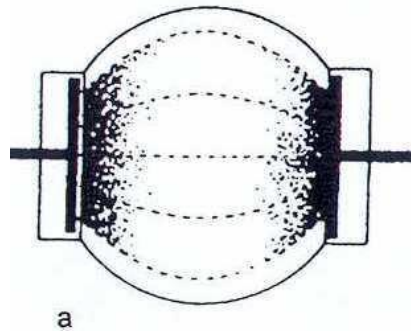
- ohřev pod menší elektrodou
- „elektrický skalpel“

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

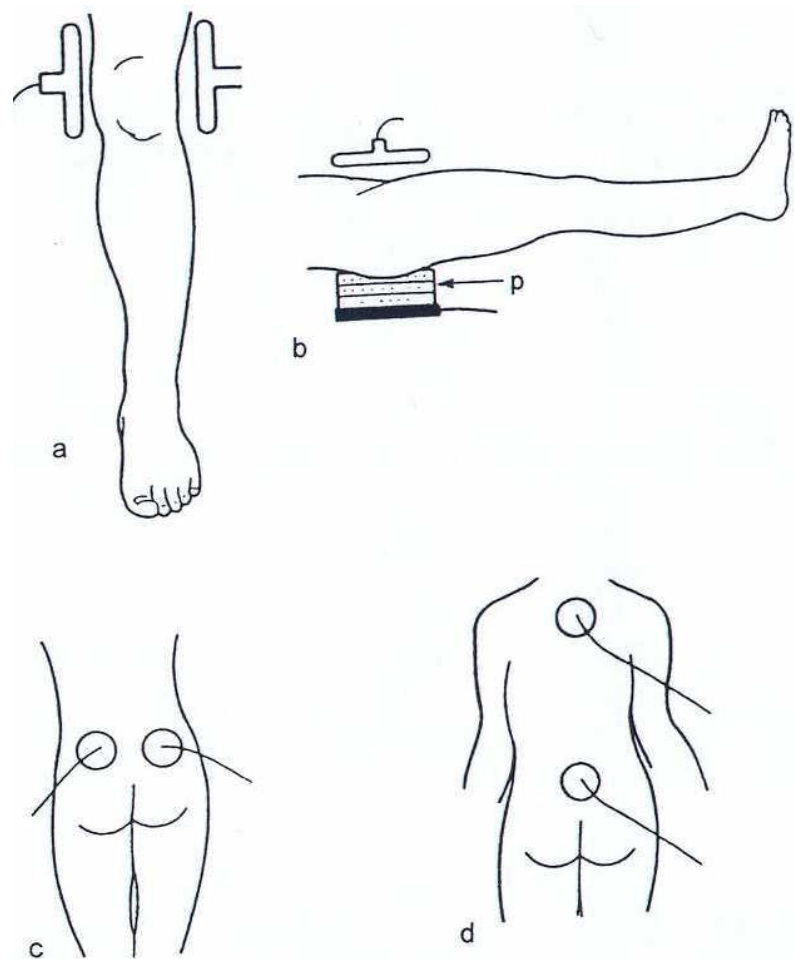
| vzdálenost | indikace |
|------------|------------------------------------|
| 1 – 2 cm | povrchové vrstvy a podkoží |
| 3 – 5 cm | hlubší vrstvy při rovném povrchu |
| 6 – 10 cm | hlubší vrstvy při nerovném povrchu |

vzájemná poloha elektrod významně ovlivňuje účinek

Kapacitní metoda

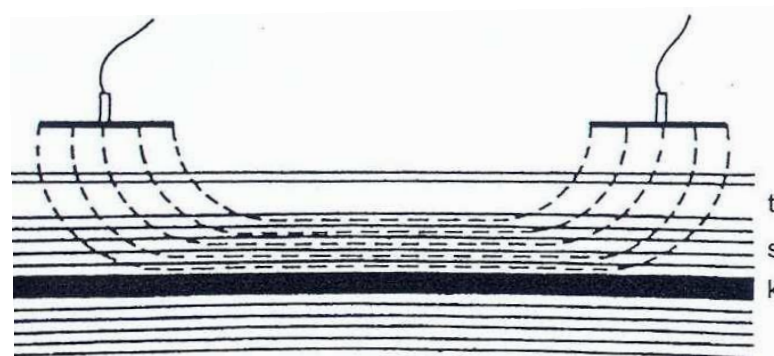
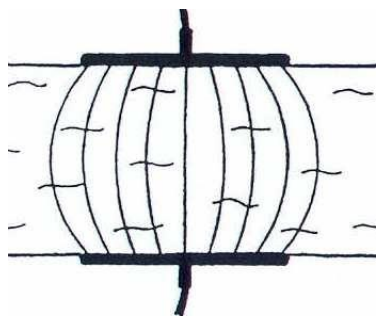
způsoby aplikace:

- a. příčná lateromediální
- b. příčná transabdomální s podložkou
- c. komplanární na segment
- d. podélná paravertebrální



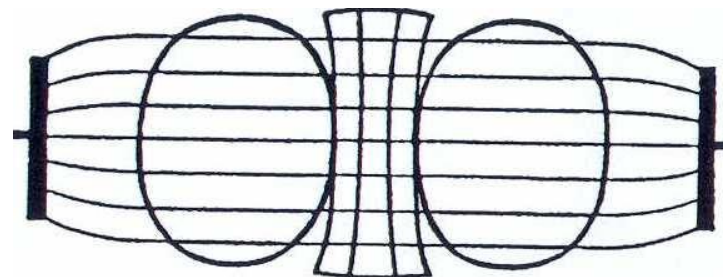
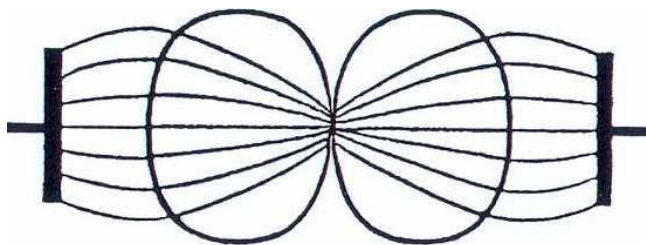
Kapacitní metoda

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

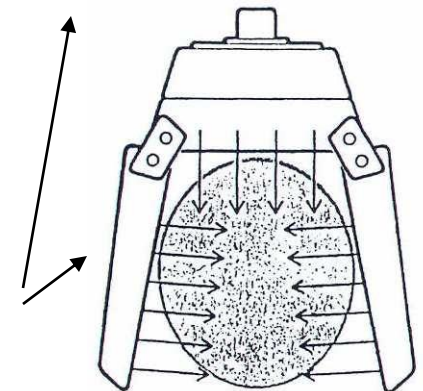
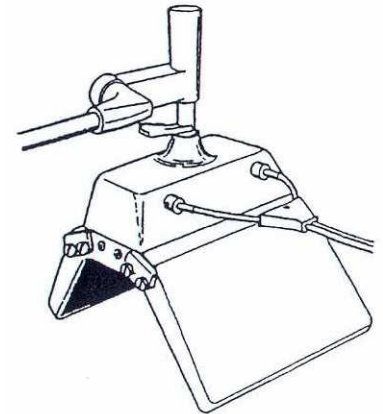
- cívkové

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

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

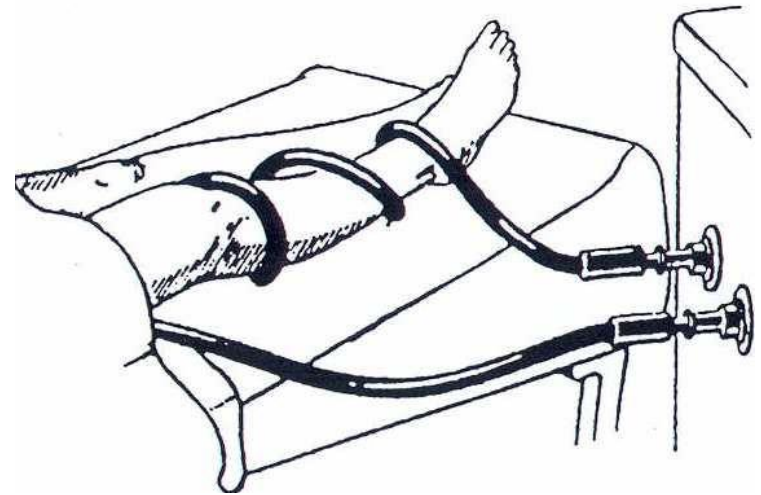
umístění – dále než 1cm

- 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 10×30 cm,
 - velkoplošné (lomené odrazové zrcadlo) $5 \div 15$ cm od těla.