

**MATERIAŁY POMOCNICZE DO WYKŁADU
Z PODSTAW ZASTOSOWAŃ ULTRADŹWIĘKÓW W MEDYCYNIE**
(wyłącznie do celów dydaktycznych – zakaz rozpowszechniania)

**8. Zastosowania czynne ultradźwięków w medycynie:
Terapia ultradźwiękowa. Ultrafonoforeza. Liposukcja. Aerozoloterapia.**

S2. Czynne oddziaływanie ultradźwięków

Ultradźwięki mogą oddziaływać na tkanki.

Przekroczenie dopuszczalnych natężeń powoduje nieodwracalne zmiany w tkankach biologicznych.

Porównując różne zjawiska ultradźwiękowe należy zawsze brać pod uwagę wielkość stosowanych natężeń dźwięku, a nie całkowitych mocy akustycznych.

W zakresie ultradźwięków mogą być wytworzone natężenia dochodzące do 1000 W/cm^2 , tj. 10^7 razy większe niż natężenie dźwięku występujące przy granicy bólu, a 10^{19} razy większe od progu słyszalności.

S3. Zjawiska biologiczne

Zjawiska biologiczne → efekt działania zjawisk ultradźwiękowych (zwłaszcza mechanicznych i termicznych).

Fizyczny punkt widzenia (3 gradacje natężeń):

- ❖ małe:
- ❖ średnie:
- ❖ duże:

3 grupy ze względu na skutki oddziaływań energii ultradźwiękowej:

- małe: niewielkie zmiany w komórkach i przyspieszenie procesów fizjologicznych,
- średnie – uznawane jako pozytywne i stosowane w terapii: przyspieszenie międzykomórkowej wymiany energii, zmiany odwracalne wewnątrz komórek,
- duże: nieodwracalne zmiany w komórkach i tkankach (pęka jądro, odrywa się plazma od ścian komórek – całkowita destrukcja).

S4. Działanie na człowieka

Można rozpatrywać również jako pierwotne i wtórne.

Oddziaływanie energii ultradźwiękowej na człowieka można rozpatrywać jako lecznicze i szkodliwe: mechanizm oddziaływania → zależy od rodzaju i grubości nadźwiękowanej tkanek; Skuteczność oddziaływania → rodzaj fali; decydujące znaczenie → działanie mechaniczne, termiczne, fizykochemiczne.

S5. Działania biologiczne ultradźwięków

- Wahania ciśnienia (4 – 8 kG/cm²)
→ rozciąganie i ściskanie tkanek (mikromasaż: 1 mln komórek w 1 cm², tzn. 8 mg/komórkę);
- Bodźce mechaniczne → wpływ na obwodowy i autonomiczny układ nerwowy;
- Energia mechaniczna → wpływ na procesy polaryzacji i depolaryzacji nerwów (↑ próg bólu);

- Specyficzne rozproszenie ciepła;
- Największy skutek cieplny → na powierzchniach warstw granicznych → powoduje wzmożoną dyfuzję wewnątrz komórki oraz między komórką a przestrzenią międzykomórkową;
- Doświadczenia: przy $I = 4 \text{ W/cm}^2$ może dojść do wzrostu temp. ~ 5 – 6 °C → w warstwach przygranicznych lepiej stosować głowicę ruchomą lub impulsową;

- Są skutkiem działań mechanicznych i cieplnych;
- Ciała koloidalne w płynach tkankowych ulegają rozbiću → tworzą emulsje;
- Wzrasta szybkość reakcji chemicznych → $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H} + \text{OH}$ (wolne rodniki, utlenianie);
- Wzrasta przewodnictwo elektryczne w elektrolitach;
- Wpływ na strukturę białek;
- Zmiany w strukturze cząsteczki → gamma-globuliny (przeciwciężła);

- Poprawiają ukrwienie;
- Wywierają działanie przeciwbólowe;
- Powodują wzrost potencjału błonowego;
- Polepszają przewodnictwo nerwów;
- Zmniejszają napięcie mięśni szkieletowych;
- Zmniejszają napięcie błony mięśniowej gładkiej.

S7. Terapia ultradźwiękowa: podstawy

Jakość i stopień oddziaływania biologicznego ultradźwięków zależą od:

f :

I :

Czas ograniczony aby nie przedawkować, ale nie obowiązuje prawo dozowania: $I \cdot t$, tzn. nie następuje kumulowanie skutków.

Małe i średnie natężenia: ruchy obrotowe i wstrząsanie komórek → przyspieszanie międzykomórkowej wymiany energii.

Duże natężenia: zmiany nieodwracalne → niszczenie komórek.

S8. Terapia ultradźwiękowa: podstawy

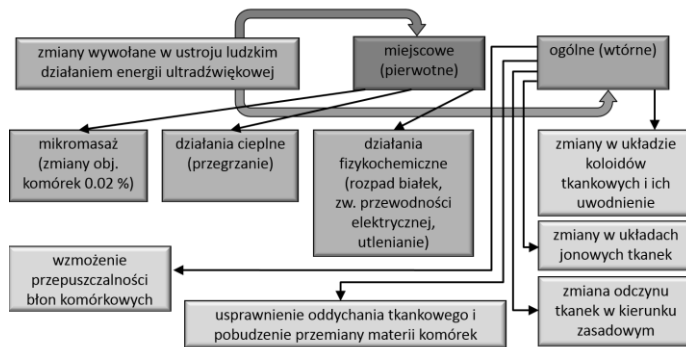
W lecznictwie znajdują najczęściej zastosowanie ultradźwięki o częstotliwościach: 800 kHz, 1 MHz, 2.4 MHz i 3 MHz.

W fizykoterapii głębokość, w której natężenie fali ultradźwiękowej spada do połowy nazywane jest **głębokością połówkową lub warstwą połowiąca.**

Poza tą głębokością przy dawkach leczniczych natężenie fali jest stosunkowo małe, a skutki działania biologicznego są trudne do stwierdzenia.

S9. Terapia ultradźwiękowa: działanie ultradźwięków

Zgodnie z prawem Grotthusa-Drapera, energia ultradźwięków wywołuje w tkankach odczyn, jeśli zostanie przez nie pochłonięta w dostatecznej ilości.



S10. Terapia ultradźwiękowa: lecznicze działanie i dawkowanie

mikromasaż, działanie przeciwbólowe, zmniejszenie napięcia mięśni, powstawanie związków aktywnych biologicznie, wpływ na enzymy ustrojowe, rozszerzenie naczyń krwionośnych, stabilizacja układu współczulnego, lokalna stymulacja mózgu, hamowanie procesów zapalnych, przyspieszenie gojenia ran, regeneracja tkanek, przyspieszenie wchłaniania tkankowego, uwalnianie substancji histaminopodobnych w ilościach aktywnych biologicznie.

Skutki biologiczne wywołane w tkankach przez energię fali ultradźwiękowej zależą od jej mocy akustycznej. Zależność tę określa prawo Arndta-Schultza: **slabe bodźce pobudzają, silne hamują, najsilniejsze niszczą tkankę.**

0.05 – 0.5 W/cm² 0.5 – 1.5 W/cm² 1.5 – 2.0 W/cm²

Krótki czas zabiegu:

Średni czas zabiegu:

Długi czas zabiegu:

S11-12. Terapia ultradźwiękowa: aparatura i metodyka zabiegów

UWAGA – MÓZG i OCZY!

Nie wolno: powyżej 3-go kręgu szyjnego, jamy brzusznej, okolic serca i klatki piersiowej.

S14. Ultrafonoforeza

Wprowadzanie **do skóry**, w trakcie zabiegu, określonego leku wzmagającego działanie lecznicze ultradźwięków. Lek wprowadzany jest do substancji sprzęgającej: leki rozszerzające naczynia krwionośne, leki przeciwzapalne, leki przeciwbólowe (w postaci mazideł, kremów, maści).

W miarę zwiększania gęstości substancji sprzęgającej ultradźwięki zostają pochłaniane na mniejszej głębokości, wywołując efekt termiczny w powierzchniowych warstwach tkanek.

Przenikanie leków do skóry w czasie ultrafonoforezy zależy od:

S15. Ultrafonoforeza

FONOFOREZA

Dyfuzja leku poprzez skórę → wymuszona powstawaniem dipoli relaksacyjnych leku w polu drgań mecha-nicznych oraz poszerzeniem kanałów gruczołowych i porów skórnych.

ELEKTROFONOFOREZA

Wnikanie leku przez:

nabłonek, mieszki włosowe, gruczoły łojowe, przewody gruczołów potowych

S16-17. Elektrofonoforeza: proces, podłączenie elektrody biernej

Czas zabiegów: kilkanaście minut, moce 1 – 2.5 W, prąd 1 – 2 mA

(zapalenia, odwapnienia stawów, zapalenie nerwu kulszowego, przykurcze, zapalenie kości, ropień nadgarstka)

S21. Liposukcja ultradźwiękowa

Tkanka łączna właściwa	c [m/s]	α [dB/cm]
tłuszcz	1450	0.29
pierś kobieca	1510	0.75
ścięgna	1750	4.70
nerka	1560	1.00
wątroba	1595	0.50
śledziona	1567	0.40
jądra męskie	1595	0.17

Ultradźwięki oddziałują na **błonę komórkową** komórek tłuszczowych, powodując jej uszkodzenie. Poza rozbijaniem tkanki tłuszczowej następuje **drenaż limfatyczny** i **wzmocnienie elastyczności skóry** .

S23. Aeroszoterapia ultradźwiękowa

Aeroszoterapia ultradźwiękowa - rozpylanie cieczy przez ultradźwięki o dostatecznej mocy: ogniskowanie fal → fontanna ultradźwiękowa → mgła.

Zalety: duża gęstość, małe wymiary, jednorodność wymiarów kropelek (1 MHz → 4 μm, 5 MHz → 1 μm).

Wady: trudności w rozpraszaniu cieczy o dużej lepkości.

S24. Aeroszoterapia ultradźwiękowa: charakterystyka aerozoli

W medycynie → podział aerozoli wg stopnia ich rozdrobnienia:

- 0.1 – 5 μm: suchy;
- 5 – 20 μm: wilgotny;
- powyżej 20 μm: mokry (tzw. spray).

$$D = 0.34 \sqrt[3]{\frac{8\pi T}{\rho f^2}}$$

Charakterystyka aerozoli do celów leczniczych (0.5 – 30 μm):

- ❖ widmo kropelkowe głębokie: znaczna przewaga kropelek o jednakowej średnicy,
- ❖ widmo szerokie, płytke,
- ❖ podaje się objętościowy skład kropelek mgły (np. 80% - 2 μm i 20% 100 μm → małe krople są wył. z procesu inhalacji).

Duże powierzchnie → zmiana działania fizykochemicznego → zwiększenie dostępności biologicznej środków leczniczych: **0.5 – 10 μm optymalna wielkość do wziewania**

f [MHz]	D [μm]	V [μm ³]
1	4.1	36.1
3	2.0	4.2
5	1.4	1.4
7	1.1	0.7

S25. Aerozoloterapia ultradźwiękowa: lecznicze stosowanie aerozolu

Optymalna temperatura aerozolu 30 °C:

sprężone powietrze → temperatura niska

ultradźwięki → temperatura leku i otaczającego powietrza

Odcinek dróg oddechowych	Średnica kropelek
Tchawica	
Oskrzela główne	
Oskrzela płatowe	
Oskrzela segmentowe	
Najmniejsze oskrzela	
Oskrzeliki końcowe	
Oskrzeliki oddechowe	
Przewodziki pęcherzykowe	
Woreczki pęcherzykowe	

S26. Aerozoloterapia ultradźwiękowa: biologiczne działanie aerozolu

Aerozol wnika do dróg oddechowych → osadza się na różnych odcinkach narządu oddechowego → do głębokich obszarów tkanki płucnej docierają krople 0.5 – 10 μm → tam najintensywniejsze wchłanianie.

Mgły o bardzo delikatnym rozproszeniu ulegają wchłonięciu > 50 % ilości wejściowej.

Najbardziej korzystne wymiary cząsteczek: 1.8 -3 μm wchłaniane są przez błony śluzowe dróg oddechowych.

Kropelki leków oddziałują farmakologicznie na dużą powierzchnię oskrzeli i pęcherzyków płucnych i szybko przenikają do krwi.

Aerozole o ładunkach ujemnych zwiększają oczyszczanie się dróg oddechowych (zwiększone wytwarzanie śluzu i potęgowanie ruchu rzęsek nabłonka).

Aerozole o ładunkach dodatnich działają odwrotnie (zmniejszone wytwarzanie śluzu).

Aerozole: w pediatrii istotne jest zmniejszenie wstrzyknięć leku.