

# Rázová vlna ESWT

- balistický (pneumatický) generátor

Vladan Bernard  
Biofyzikální ústav Lf MU

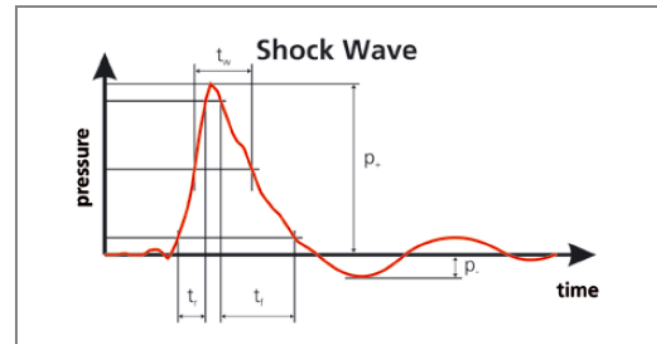
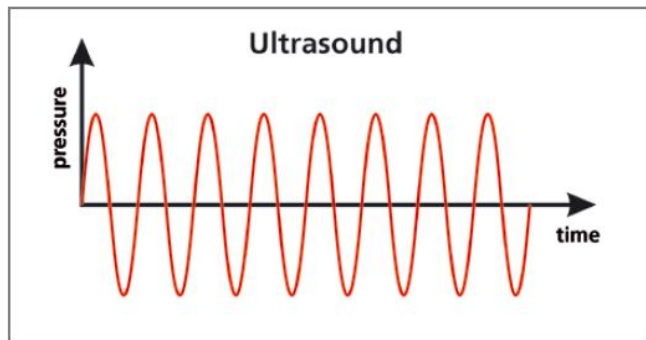
- **Co je to rázová vlna**

Rázová vlna je mechanická (akustická) vlna, přenášející velké množství energie (vs. ultrazvuk), podmíněná existencí hmotného prostředí, které se při jejím průchodu do jisté míry deformuje

Rázová vlna (fyz): Strmý nárůst ( $< 10$  ns, až 100 MPa) a pokles tlaku v místě obálky vlnoploch (v 3D povrch kužele) vytvořených zdrojem který se pohybuje nadzvukovou rychlostí (rychleji než vlastní tlaková vlna - Machův kužel)

- **Rozdíl oproti ultrazvukové vlně (diagnostický či terapeutický uz. gen.)**

Rázová vlna se vyznačuje skokovou změnou tlaku, vysokou amplitudou pozitivního a nízkou amplitudou negativního tlaku a neperiodičností.



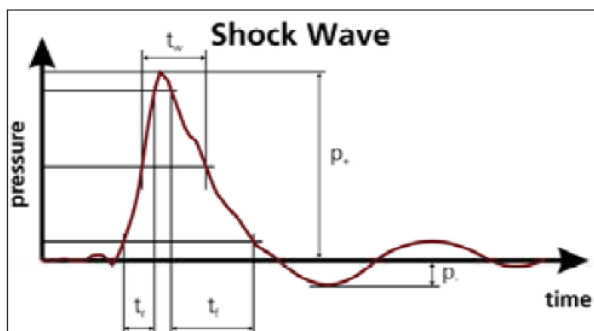
- **Využití rázových vln**

ESWL – extracorporeal shock wave lithotripsy - mimotělová litotripse rázovou vlnou

ESWT – extracorporeal shock wave therapy – léčba rázovou vlnou – fokusovaná radiální

## Rázová vlna podrobněji

- Rázová vlna - shock wave SW - vývoj od ww2, první patent na elektrohydraulický generátor v USA, 70. léta první desintegrace žlučnickových kamenů in vitro



Charakteristická vysoká hodnota pozitivní výchylky tlaku až 150 MPa (stonásobek atm. tlaku) se strmým nástupem 10-120 ns, doba trvání pozitivní výchylky tlaku okolo 500 ns, následuje negativní tlak s hodnotou 5-10 MPa.

Schematické znázornění utváření strmého čela mechanické vlny v prostoru, způsobené nelinearitou šíření, kdy v místech s větším tlakem dochází k nárůstu rychlosti šíření a deformaci vlny

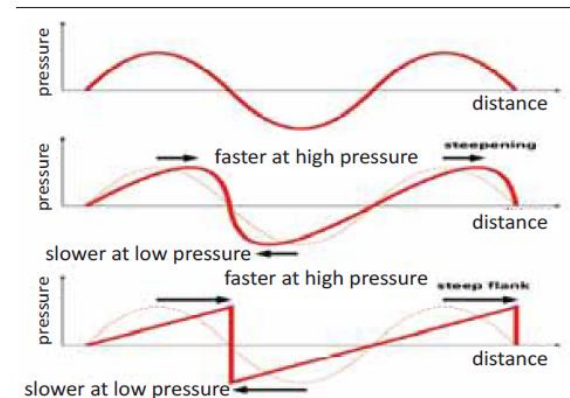
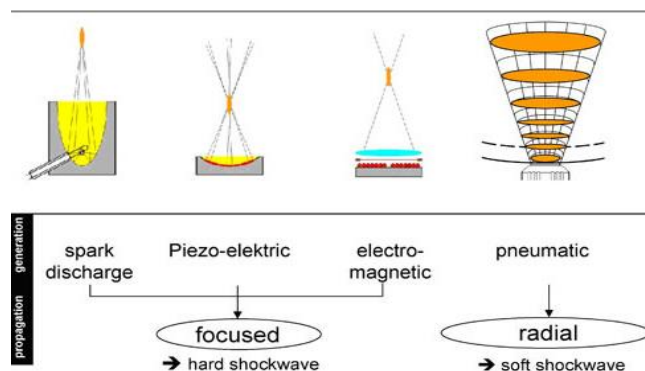


FIGURE 2. Schematic representation of the steepening of a wave front, due to non-linearity in the propagation medium; in order to form a SW front, the wave runs faster in zones with higher pressure and thereby it steepens (4)

## ESWT komplexně

- **Fokusovaná rázová vlna** - větší hloubkový dosah, větší hodnota energetické hustoty (nad  $0,4 \text{ mJ} \cdot \text{mm}^{-2}$ ), ohnisková fokusace s větším tlakem rázové vlny – oproti RSWT
  - vznik elektrohydraulický generátor
  - elektromagnetický generátor
  - piezoelektrický generátor
- **Radiální rázová vlna RSWT** - nižší průnik do tkáně cca 3-4 cm, hodnoty akustické hustoty do  $0,3 \text{ mJ} \cdot \text{mm}^{-2}$ , bez možnosti ohniskové fokusace
  - vznik balistické (pneumatické) generátory
  - **někdy považována spíše za tlakovou vlnu než rázovou vlnu**
  - její časový tlakový průběh více sinusoidní

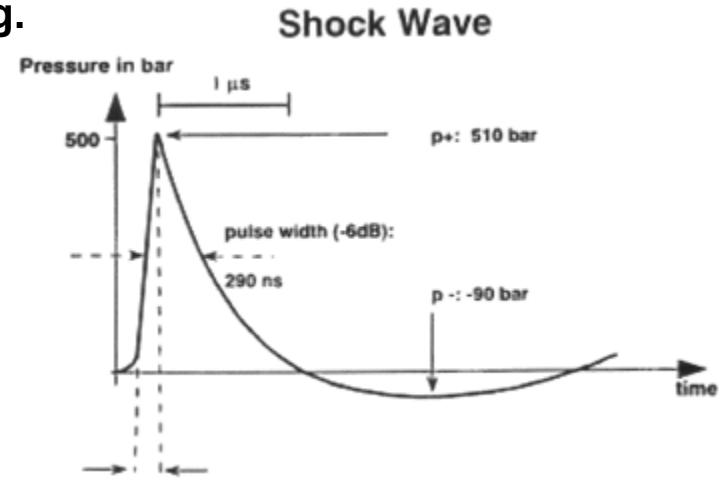


(pozn. dále v prezentaci u RSWT uváděna stále jako rázová vlna, s ohledem na fakt přesnější terminologie tlaková vlna)

# Průběh rázové vlny ESWT – elektrohydraulický g.

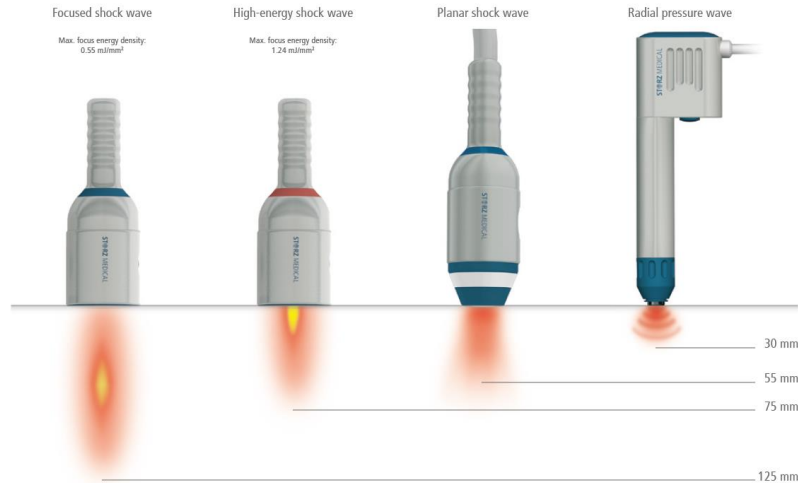
Hodnoty tlaku rázové vlny v čase

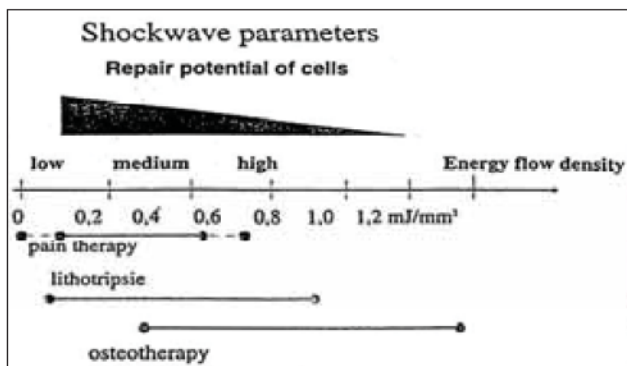
Obecně rázová vlna může být popsána jako jeden puls s širokým frekvenčním rozsahem (až do 20 MHz), s velkou tlakovou amplitudou (až 120 MPa) a krátkou dobou náběhu.



# Dosah rázové vlny v prostoru s ohledem na budící zdroj

Comparison of penetration depths F-SW, HE-F-SW, P-SW, R-SW





Vztah mezi aplikovanou energetickou hustotou, obnovou tkáně a využitelnými účinky (*Rompe, Extrakorporale Stosswellentherapie*)

Rozdíly mezi fokusovanou, rovinou a radiální rázovou vlnou s ohledem na biologické účinky (*Onose, 2011*)

	Shock waves (focused)	Shock waves (planar)	Pressure waves (radial)
<b>Focus</b>	yes	no	no
<b>Rise time</b>	typically 0.01 $\mu$ s	typically 0.01 $\mu$ s	typically 50 $\mu$ s
<b>Compression pulse duration</b>	approx. 0.3 $\mu$ s	approx. 0.3 $\mu$ s	approx. 200 – 2000 $\mu$ s
<b>Positive peak pressure</b>	0-100 MPa	0-3 MPa	0.10 MPa
<b>Energy flux density</b>	0-15 mJ/mm <sup>2</sup> in the body	0-14 mJ/mm <sup>2</sup> at skin surface	0-0.3 mJ/mm <sup>2</sup> at skin surface
<b>Therapeutic effect in body</b>	0-12 cm	0-5.5 cm	0-3 cm

# Balistický generátor

- součásti
- ovládací modul
  - aplikátor
  - kompresor



Kinetická energie projektilu  
urychleného tlakovým vzduchem je  
přenesena do nástavce na konci pistole  
– vznik rázové vlny

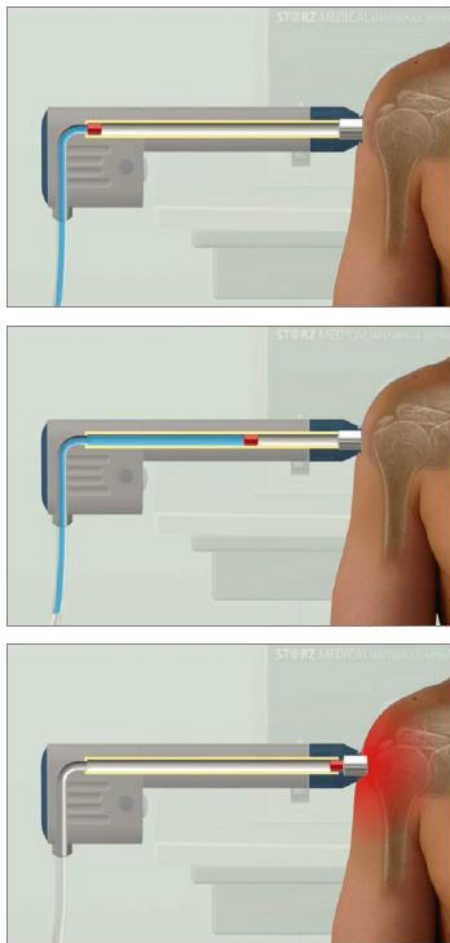


<http://www.8a.ru/print/26733.php>

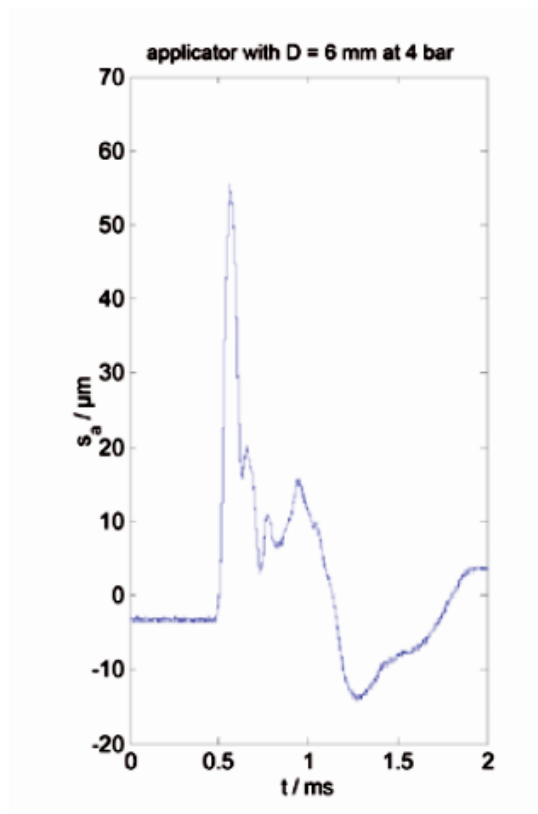
## Fyzikální podstata funkce balistického generátoru

- Kinetická energie vlny vytvořená stlačeným vzduchem se přenáší pružným rázem do speciální hlavice (vysílače) na konci aplikátoru.
- Rázové vlny generované tímto mechanismem se šíří radiálně nebo soustředěným způsobem (podle druhu použitého vysílače).
- Hloubka působení závisí na druhu použitého vysílače a přednastavené energii (tlaku) a dosahuje hodnot v rozmezí 4 až 7 centimetrů.
- Šíření vzniklé tlakové vlny je závislé na hodnotě akustické impedance tkáně, přičemž vyšší absorpce se vyskytuje na akustických nehomogenitách (velkých rozdílech akustických impedancí rozhraní tkání).
- Nutnost aplikace kontaktního media, např. uz gelu, pro snížení ztrát při přechodu mezi hlavicí aplikátoru/tkání (akustický impedanční rozdíl) v případě běžného aplikátoru

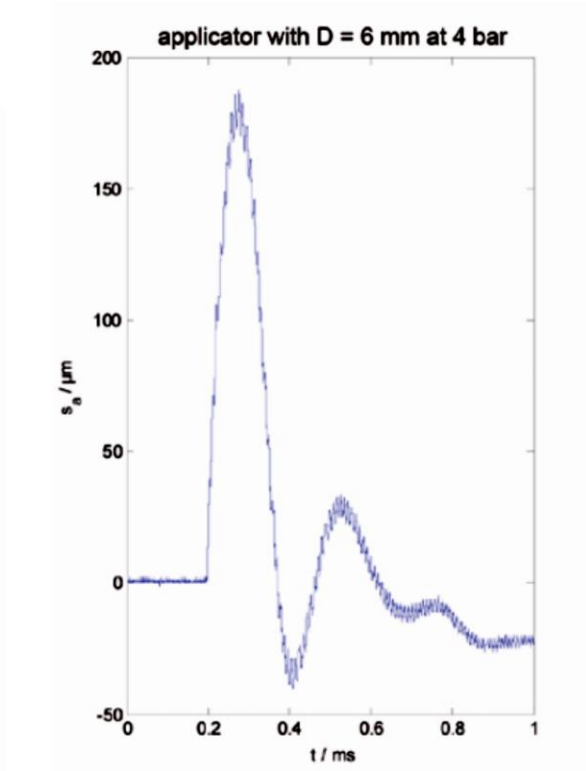




Funkce balistického generátoru



výchylka konce hlavice aplikátoru ve vodném prostředí (simulace tkáně)- trvání tlakové vlny 0,5 ms (1000 krát delší oproti rázové vlně)



výchylka konce hlavice aplikátoru ve vzduchu

## Fyzikální parametry běžně užívaných balistických generátorů

Frekvence 1-22 Hz

Vnitřní tlak  $1-5 \cdot 10^5$  Pa

Energetická hustota v řádech  $\text{mJ} \cdot \text{mm}^2$  (0,1 – 0,25  $\text{mJ} \cdot \text{mm}^2$  )

Natavení počtu rázů v 100 až 1000

Aplikační nástavce v rozměrech několika mm až desítek mm

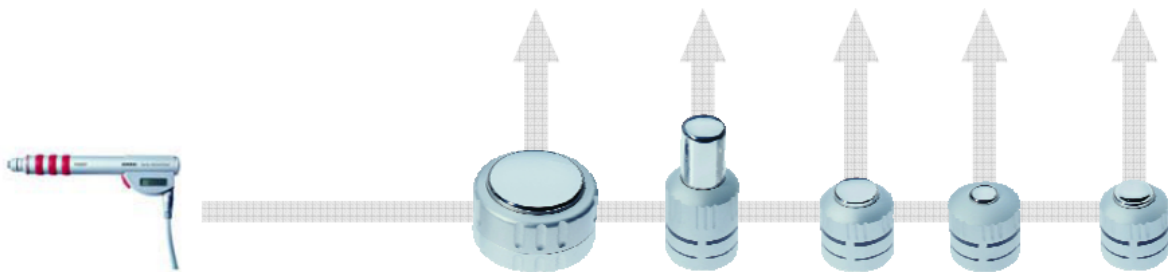
Průnik tkání až 7 cm (účinné cca 3,5 cm)

Rychlost projektilu přibližně  $5-20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

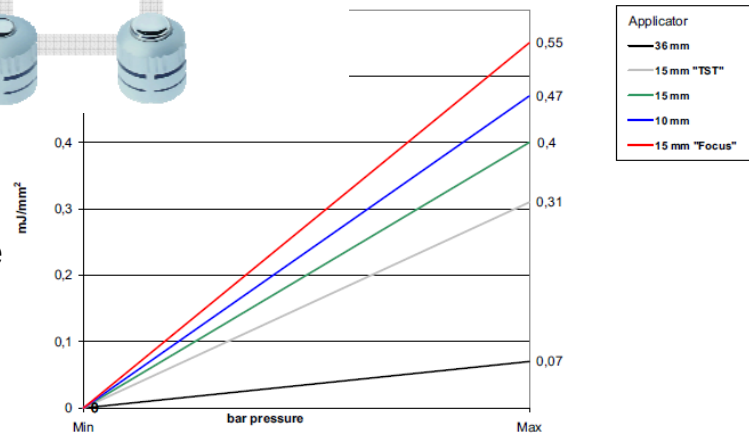
Kombinace s jinými terapeutickými přístroji - laser, magnetoterapie, uz



Physical means	Label	36 mm*	15 mm Trigger*	15 mm*	10 mm*	15 mm Focus*	Unit
Max positive pressure	$P_{+}^{\max}$	7,6	12	16,1	19,9	19,2	MPa
Max negative pressure	$P_{-}^{\max}$	-7,6	-9,2	-8,6	-8,2	-10,2	MPa
Max. positive energy flux density	$E_{D+}^{\max}$	0,07	0,31	0,4	0,47	0,55	mJ/mm <sup>2</sup>
Rise time	$t_r$	2,97	3,4	2,6	2,5	2,4	μs
Half width positive peak	$t_{\tau}$	2,48	3,8	2,4	2,4	2,4	μs
-6dB focus x,y	$f_{x/y}^{-6dB}$	32,7	12,6	11,3	8,3	10,6	mm
-6dB focus z	$f_z^{-6dB}$	18,5	4,4	7,8	4,5	7,3	mm
-6dB focus volume	$V_{foc}$	1708	118	200	73	160	mm <sup>3</sup>
5 Mpa focus x,y	$f_{x/y}^{5MPa}$	10	7,4	8	4,9	8,3	mm
5 Mpa focus z	$f_z^{5MPa}$	10,3	10,1	19,5	12,8	20,9	mm
Positive pressure 5 mm x,y	$P_{+x,y}^{5mm}$	5,3	7,2	8,2	-	7,5	Mpa
Positive pressure 5 mm z	$P_{+z}^{5mm}$	6	6,9	10,3	8,6	11,7	Mpa
Positive total energy	$E_{+}$	34,2	18,2	23,7	10,2	26,8	mJ/pulse
Positive total energy in the -6dB focus	$E_{-6dB}$	32,0	13,5	15,9	10,2	19,1	mJ/pulse
Maximum penetration depth		25	35	40	43	45	mm



Výrobce deklarované parametry RSWT přístroje Power+Handpiece, graf energetické hustoty závislé na ploše aplikátoru a pracovním tlaku přístroje



## Deklarované léčebné účinky ESWT

- Analgetický účinek
- Zvýšení metabolismu
- Rozpuštění vápenatých usazenin ve vazivových buňkách
- Zvýšení produkce kolagenu
- Snížení svalového napětí
- Uvolnění „spoušťových bodů“



<http://www.ems-company.com/>

*Literatura:*

*Shock wave application in medicine, a tool of modern operating theatre  
An overview of basic physical principles, history and basic research  
Michael Thiel Ph.D., Martina Nieswand, Ph.D., Michael Dörffel, Ph.D.*

*Extracorporeal Shock Wave Therapy – A new “wave” (also) in Physiatry?  
Prof. Gelu Onose et al, Practica Medicala –VI, 1(21), 2011*

*Wess OJ – Physics and technology of shock wave and pressure wave therapy – STORZ  
Medical AG*

*<http://www.shockwavetherapy.ca>*

*<http://www.ismst.com/start.htm>*

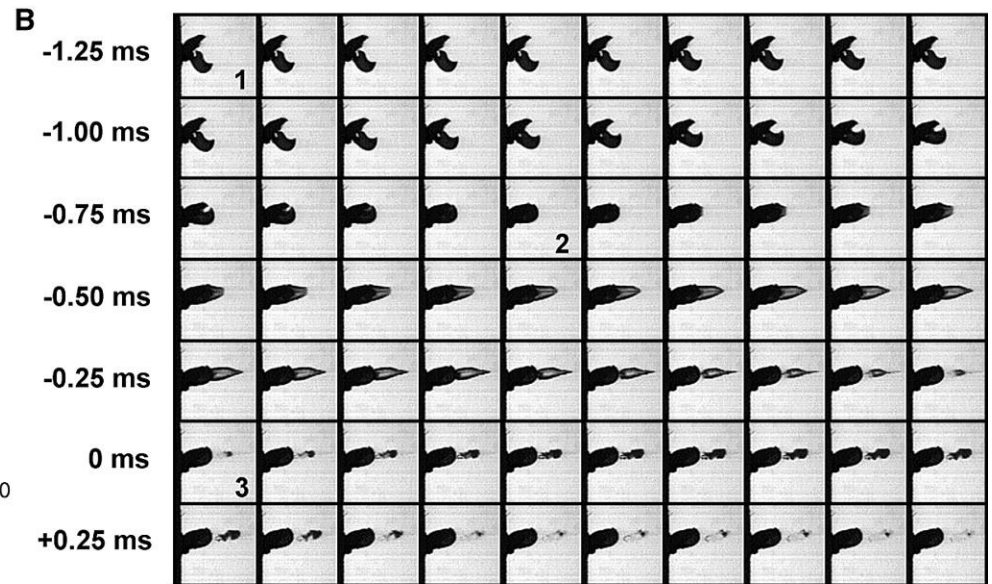
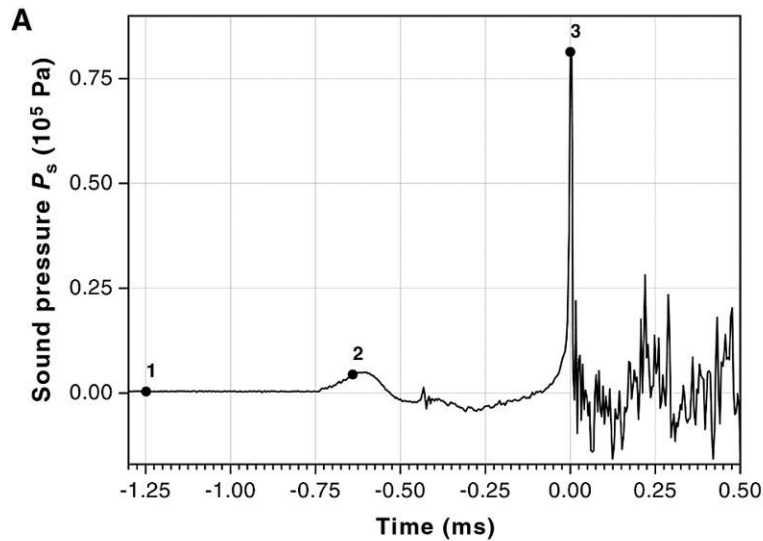


*<http://www.btl.net.com/mf/shockwave-therapy/>*

# Kreveta *Alpheus bellulus*



K lovení kořisti používá „rázovou vlnu“ vytvořenou pomocí vlastního klepeta.



2 cm

Rázová vlna-Bernard-2019

# Děkuji Vám za pozornost

## FINALLY→

THE SOOTHING EFFECT OF EXTRACORPOREAL SHOCK WAVE THERAPY (ESWT) IN CONJUNCTION WITH THE SWISS DOLORCLAST® METHOD BECOMES NOTICEABLE IN JUST A FEW DAYS.

> ESWT is used successfully in professional sports and in orthopaedic practice. Its effectiveness has been demonstrated in a multitude of clinical studies.

PERHAPS YOU TOO WILL BEGIN TO ENJOY A QUALITY OF LIFE YOU THOUGHT YOU WOULD NEVER HAVE AGAIN – LIFE WITHOUT PAIN!



Manuál Swiss dolorclast® classic  
<http://www.ems-company.com>