



UNIVERZITA KARLOVA  
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU



# Disertační práce

**Karel Hurt**

2023

# **Spazmus svalů pánevního dna jako příčina jeho dysfunkce**

**Studijní obor: Kinantropologie**

**Školitel: Prof. Ing. František Zahálka, PhD.**

**Vypracoval: MUDr.Karel Hurt, DrSc**

**Praha 2023**

## **Poděkování:**

Velmi rád a především bych chtěl poděkovat panu Profesoru Ing. Františku Zahálkovi, PhD., za jeho citlivé vedení a koordinaci, které mi umožnili tuto práci vytvořit. Rád bych též poděkoval, bohužel in memoriam, Prof. MUDr. O. Švestkové, PhD., která mi umožnila tuto práci zahájit. Též bych rád poděkoval Prof. MUDr. Michalovi Zikánovi, PhD., za jeho přístup, jako vedoucího kliniky GP Fakultní nemocnice Bulovka, kde pracuji a vyučuji. Dále bych rád vyjádřil upřímné poděkování všem spolupracovníkům uvedeným jako spoluautoři v publikacích, které tímto způsobem vznikly, či jejich vznik umožnili. Moje poděkování náleží také odborným pracovnícím, které vše výjimečné změnily v běžné.

Prohlašuji, že jsem disertační práci vypracoval samostatně pod vedením Prof. Ing. Františka Zahálky, PhD., a že jsem uvedl všechny použité zdroje literatury.

Praha 2023

MUDr. Karel Hurt, DrSc.

## Obsah

1. Úvod.....	10
2. Svalová bolest .....	12
2.1. Subjektivní diferenciacie mezi různými formami bolesti.....	13
2.2. Patofyziologie svalové bolesti .....	14
2.3. Chronická dlouhodobá bolest .....	16
2.4. Příčiny lokální svalové bolesti:.....	17
2.5. Podmínky zvýšeného svalového tonu.....	18
2.6. Svalové řetězcové reakce.....	19
2.7. Přenesená bolest .....	19
2.8. Svalový spouštěcí bod (myofascial trigger point, MTrP).....	22
2.8.1. Patofyziologie.....	23
2.8.2. Aktivátory.....	25
2.8.3. Diferenciacie spouštěcích bodů.....	27
2.8.4. Příznaky.....	29
2.8.5. Dlouhodobé změny ve svalech.....	30
2.8.6. Účinky na pohybový aparát a zpracování bolesti.....	30
2.8.7. Diagnostika klinickým vyšetřením.....	30
2.8.8. Klasické terapie .....	32
2.8.9. Extramuskulární spouštěcí body .....	33
2.8.10. Délka léčby myofasciální bolesti.....	34
2.8.11. Chyby v léčbě myofasciální bolesti.....	35
2.9. Svalové bolesti pánevního dna.....	36
2.9.1. Vulvodynie .....	36
2.9.2. Dyspareunie.....	37
3. Rázová vlna, teorie vzniku, rozdělení a její využití v praxi.....	39
3.1. Fokusané rázové vlny .....	39
3.2. Generování fokusovaných rázových vln .....	41
3.3. Šíření rázové vlny (odraz, lom, rozptyl).....	43
3.4. Parametry rázové vlny, měření rázové vlny, tlak rázové vlny .....	44
3.5. Zaostření rázové vlny .....	45
3.6. 5 MPa léčebná zóna .....	46
3.7. Energie (E).....	47
3.8. Hustota energetického toku (ED) .....	48

3.9.	Fyzikální účinky rázové vlny .....	48
3.10.	Vznik mikrojetového kolapsu kavitace bublin.....	50
3.11.	Radiální tlakové vlny a jejich užití .....	51
3.12.	Generování radiálních tlakových vln .....	51
3.13.	Vznik pneumaticky generovaných balistických tlakových vln a jejich povrchové účinky	52
3.14.	Šíření tlakových vln .....	54
3.15.	Rozdíly v intenzitě fokusovaných rázových vln a radiálních tlakových vln v lidském těle. ....	54
3.16.	Léčebné účinky tlakových vln .....	55
3.17.	Klinické porovnání rázových a tlakových vln .....	55
3.18.	Mechanismy působení .....	57
3.19.	Indikace a kontraindikace .....	58
3.20.	Diagnóza před terapií rázovou vlnou .....	59
3.20.1.	Manuální vyšetření a funkční test jako první diagnostický krok.....	59
3.20.2.	Ultrazvuk .....	59
3.20.3.	Diagnostické zobrazení.....	60
3.20.4.	Krevní analýza.....	60
3.20.5.	Diferenciální diagnostika myofasciální bolesti .....	60
3.21.	Fokusované, rovinné nebo radiální rázové vlny?.....	61
3.21.1.	Fokusované rázové vlny .....	61
3.21.2.	Planární, rovinné rázové vlny .....	62
3.21.3.	Radiální rázové vlny .....	63
3.21.4.	Kombinované využití fokusovaných a radiálních rázových vln .....	63
3.21.5.	Diagnostika s využitím fokusované rázové vlny .....	64
3.21.6.	Diagnostika s využitím radiální rázové vlny .....	65
3.22.	Plánování terapie a výběr léčených svalů .....	65
3.23.	Hodnocení podráždění svalů.....	66
4.	Metodologie .....	67
4.1.	Vědecká otázka.....	67
4.2.	Hypotézy.....	67
4.3.	Cíl práce.....	67
4.4.	Úkoly .....	68
4.5.	Metodika.....	68

4.5.1. Metodika studie 1.....	68
4.5.2. Metodika studie 2.....	71
5. Výsledky.....	73
5.1. Výsledky studie 1 .....	73
5.2. Výsledky studie 2 .....	75
6. Diskuse .....	79
7. Závěr.....	80
8. Seznam obrázků .....	81
9. Seznam vlastní literatury .....	82
10. Literatura .....	84

## Abstrakt

**Úvod:** V současné době nejsou žádné efektivní strategie léčby idiopatické neorganické vulvodynie a dyspareunie u žen. ESWT (extracorporeal shock wave therapy) je nechirurgická/neinvazivní technika široce používaná k léčbě muskuloskeletálních onemocnění, svalové spasticity a hypertonie, ledvinových a žlučových kamenů a urologických poruch.

**Cíl:** Cílem naší práce je zjištění možnosti ovlivnění a eliminace chronické a akutní bolesti pánevního dna pomocí neinvazivní fyzikální techniky. Naším cílem je zjistit, jestli k tomu účelu lze použít extrakorporální rázovou vlnu a která její forma je nejvhodnější.

**Design studie:** Prospektivní, randomizované, dvojitě zaslepené, placebem kontrolované studie byly provedeny následně po studiích proveditelnosti.

**Metodika:** Do studie 1. bylo zařazeno 62 žen s vulvodynií po dobu minimálně 3 měsíců. Ženy byly náhodně rozděleny buď do léčebné skupiny (n=31) nebo do skupiny s placebem (n=31). Pacienti v léčebné skupině dostávali perineálně aplikovanou ESWT týdně (3000 pulzů každý po dobu čtyř po sobě jdoucích týdnů). Hustota energetického toku byla 0,25 mJ/mm<sup>2</sup>, frekvence 4 Hz, ohnisková zóna 0-30 mm, terapeutická účinnost 0-90 mm, odstup II. Použitým zařízením byla standardní jednotka pro elektromagnetické rázové vlny s násadecem zaměřeným na rázovou vlnu. Poloha snímače rázových vln byla změněna šestkrát po každých 500 pulzech. Pacienti ve skupině s placebem podstoupili stejnou léčebnou proceduru, ale násadec byl opatřen placebem, které znemožnilo přenos energie. Subjektivní bolest si každý pacient sám vyhodnotil pomocí dvou hodnocení před a po léčbě: 10 cm lineární vizuální analogové škály (VAS, 0-10) a testu bavlněným tamponem (CST, Goetschova škála 0-4). Sledování bylo provedeno 1, 4 a 12 týdnů po ESWT. Studie 2. dyspareunie zahrnovala 62 žen, které udávaly dyspareunii. Pacienti v léčené skupině a skupině s placebem dostávali perineálně aplikovanou ESWT týdně po dobu čtyř po sobě jdoucích týdnů, pacienti kontrolní skupiny placebo. Stupeň dyspareunie byl specifikován pomocí Marinoff škály a subjektivní intenzity bolesti na vizuální škále (VAS), před a po léčbě. Následné kontroly byly provedeny 1, 4 a 12 týdnů po poslední ESWT.

**Výsledky:** Studii vulvodynie dokončilo celkem 61 žen. Testovali jsme rozdíly ve VAS a CST v rámci léčebné skupiny a skupiny s placebem a mezi nimi. Testování bylo mezi před léčbou a konkrétním následným sledováním. Zjistili jsme významné změny v léčené skupině. Při všech třech sledováních bylo pozorováno snížení VAS ( $p < 0,01$ ) a CST ( $p < 0,01$ ). Při všech hodnoceních bylo snížení bolesti vždy  $> 30 \%$ . Ve skupině s placebem nebyly žádné statisticky významné změny mezi před a po léčbě. Mezi léčebnou skupinou a skupinou s placebem nebyly před léčbou žádné rozdíly, ale statisticky významné rozdíly po léčbě ve všech třech sledováních (VAS  $p < 0,01$ ); CST  $p < 0,01$ ). Studii dyspareunie dokončilo 61 žen. Testovali jsme rozdíly v Marinoff škále a VAS v rámci léčebné skupiny a skupiny s placebem a mezi nimi. Významné rozdíly byly nalezeny ve skupině léčené, ale nikoli ve skupině s placebem. Rozdíly před a po léčbě v rámci skupin byly  $p < 0,001$ , mezi skupinami  $p < 0,001$ . Snížení bolesti bylo vždy  $> 30 \%$ . Velikosti efektů byly obě velké: Marinoff 0,825 a VAS 0,883.

**Závěry:** V naší studii jsme prokázali, že ESWT snižuje vnímání bolesti v naší léčené skupině žen s chronickou a akutní bolestí pánevního dna. Doporučujeme tuto techniku dále zkoumat a využít v praxi. Metoda je snadno replikovatelná, levná a bez známých vedlejších účinků.

**Klíčová slova:** vulvodynie; dyspareunie; extracorporeální rázová vlna; ESWT; pánevní bolest



## Abstract

**Background:** Currently, there are no effective therapy strategies for idiopathic, non-organic vulvodynia and dyspareunia in women. ESWT (extracorporeal shock wave therapy) is a nonsurgical/noninvasive technique widely used to treat musculoskeletal diseases, muscle spasticity and hypertonia, renal and biliary calculi and urological disorders.

**Aim:** The goal of our work is to investigate the possibility to eliminate chronic and acute forms of pelvic pain by a non-invasive physical method. We wanted to know if the extracorporeal shock wave technique could fulfill these requirements.

**Study design:** The prospective, randomized, double-blind, placebo-controlled studies were conducted following feasibility studies.

**Methods:** The study 1. included 62 women with vulvodynia for at least 3 months. The women were randomly assigned to either a treatment group (n=31) or a placebo group (n=31). The patients in the treatment group received perineally applied ESWT weekly (3000 pulses each for four consecutive weeks). The energy flux density was 0.25mJ/mm<sup>2</sup>, frequency 4 Hz, focus zone 0-30 mm, therapeutic efficacy 0-90mm, stand-off II. The device used was a standard electromagnetic shock wave unit with a focused shock wave handpiece. The position of the shock wave transducer was changed six times after every 500 pulses. Patients in the placebo group underwent the same treatment procedure, but the handpiece was provided with a placebo stand-off that disabled energy transmission. Subjective pain was self-evaluated by each patient using two tools before and after treatment: a 10 cm linear visual analogue scale (VAS, 0-10) and a cotton-swab test (CST, Goetsch scale 0-4). Follow-ups were done 1, 4, and 12 weeks post-ESWT.

The study 2. included 62 women who reported dyspareunia. Patients in the treatment and placebo groups received perineally applied ESWT weekly for four consecutive weeks, placebo-patients with a placebo-stand-off. The grade of dyspareunia was estimated using the Marinoff-scale and subjective pain intensity on a visual scale (VAS), before and after treatment. Follow-ups were conducted 1, 4 and 12 weeks after the final ESWT session.

**Results:** In all, 61 women completed the vulvodynia study. We tested for differences in the VAS and CST within and between the treatment and placebo groups. The testing was between before treatment and particular follow-up. We found significant changes in the treatment group. Reductions in VAS ( $p<0.01$ ) and CST ( $p<0.01$ ) were observed at all three follow-ups. At all assessments, pain reduction was always  $>30\%$ . In the placebo group there were no statistically significant changes between before and after treatment. There were no differences between the treatment and placebo groups before treatment but statistically significant differences at all three follow-ups (VAS  $p<0.01$ ); CST  $p<0.01$ ). The dyspareunia study completed 61 women. We tested for differences in the Marinoff scale and VAS within and between the treatment and placebo groups. Significant differences were found in the treatment group but not in the placebo group. Differences before and after the treatment for within the groups were  $p<0.001$ , between the groups  $p<0.001$ . Pain reduction was always  $>30\%$ . The effect sizes were both large: Marinoff 0.825 and VAS 0.883.

**Conclusions:** In our study we have proved reducing chronic and acute pain perception in our treatment groups. Thus, we are encouraged with these results to explore this technique further. The method is easily replicable, inexpensive, and without known side effects.

**Keywords:** vulvodynia; dyspareunia; extracorporeal shockwave therapy; ESWT; Pelvic pain

## 1. Úvod

Správná funkce svalových struktur tvořící pánevní dno u žen je velmi důležitá pro její normální občanský, pohlavní život a neméně pro správnou funkci vyměšovacích funkcí močového a střevního aparátu. Její disharmonie ústící v pánevní bolestivost je velkým snížením úrovně kvality života. Přetrvávající bolest v pánevně pohlavní oblasti vyvolává stav ničící zdraví fyzické, psychické a neméně vztahy osobní a pracovní.

Bolesti v této oblasti lze v podstatě rozlišit na dva typy:

Organické-spojené s konkrétní lézí rozmanité etiologie, kde logické léčení příčiny má za následek nápravu disharmonie a bolesti ji provázející.

Neorganické-inaparentní, kde nebyla organická příčina prokázána, kde rozhodnutí o zařazení do této skupiny není jednoduché. Důvody bolestí bývají nejasné, jako příčina se udává myofasciální problematika, svalový hypertonus, či iritace spouštěcích bodů (trigger points).

Zpočátku je samozřejmě vina kladena na zánět, malformaci či tumor, klientka je při nenalezení příčiny stejně léčena antibiotiky (co kdyby). Teprve potom se zkouší jiné druhy terapie mimo základní běžné armamentarium. Sem patří pánevní rehabilitace, povrchová elektromyografie, interferon alfa, estrogenové krémy, botulinum toxin A. Dříve používané techniky denervace tkáně jsou již používány méně frekventně.

Již samotná rozmanitost metod snižující spasticitu a bolestivost vypovídá o tom, že není jednotnost v hledání a nalezení ideální metody pro většinu případů.

Extrakorporeální rázová vlna - ESWT (Extracorporeal shock wave therapy) se nabízí být jednou z velmi slibných možností terapie. Užití ESWT vytvářené elektromagneticky, elektrohydraulicky či piezoelektricky hodně změnilo léčebné možnosti v různých oborech medicíny a fyzioterapie. Léčba urinárních, biliárních kamenů je poměrně frekventní. Použití slabších energií je rozsáhlé v ortopedii při léčbě degenerativních onemocnění, kloubních

afekcí či plantární fasciitis. Těž nacházíme užití při hojení fraktur a špatně se hojících poranění. Léčba svalové spasticity a hypertonu je s úspěchem užívána také. Léčba Peyronyho choroby a erektilní dysfunkce se jeví též frekventní. Ve sportovní medicíně je užití ESWT významným prostředkem k návratu normálního stavu sportovce bez bolesti s možností plného zapojení a koncentrace na výkon.

Cílem naší studie bylo zjistit, do jaké míry lze tuto fyzikální techniku použít k nápravě bolestivého stavu který je neorganický-inaparentní, kde tedy nelze cíleně použít běžné kauzální terapie pro nápravu bolestivého stavu svalů pánevního dna a zlepšení kvality života klientek.

Tento postup nám může ukázat možnou cestu při nápravě i jiných svalových afekcí funkčních svalových skupin.

Naším cílem bylo prezentovat možnosti ESWT především ve dvou oblastech algických stavů pánevního dna, které alterují fyzický a psychický stav žen. Je to především vulvodynie, která prezentuje bolestivé spastické stavy pánevního dna bez zřejmé příčiny. Další rozsáhlá skupina je dyspareunie, prezentující svalové spasmy dna pánevního, kde tyto zcela či částečně znemožňují pohlavní styk.

Vulvodynie byla v rámci naší studie objektem primárního zájmu, nicméně dyspareunii jsme se do naší práce rozhodli přiřadit vzhledem k podobné problematice, byť speciální.

Využití rázové vlny prezentujeme formou dvojité slepé studie a následně hodnotíme v diskuzi a zvláště formou komplexního závěru s využitím této techniky v praxi.

V teoretické rozpravě naší studie popisujeme bolest a její formy, její vznik a šíření se zvláštním zřetelem ke svalovému aparátu. V návrhu fyzikálního řešení v dalším oddílu

popisujeme techniku rázové vlny radiální a focusované, vznik, využití, léčebné a rehabilitační možnosti.

## 2. Svalová bolest

Bolest svalů je vedle bolestí kloubů a vazů jednou z hlavních příčin muskuloskeletálních onemocnění vyžadujících léčbu. Léčba bolesti svalů je vzhledem ke své vysoké prevalenci zdravotní i socioekonomickou výzvou (Arendt-Nielsen, Mense, & Graven-Nielsen, 2003; Dreisilker, 2010).

Svalová bolest se obecně projevuje jako nespecifická bolest s těžko definovatelnou příčinou a lokalizací. V důsledku toho je rozhodnutí, která terapeutická metoda je pro vyléčení poruchy nejvhodnější, extrémně obtížné a existuje velký prostor pro interpretaci. Zatímco akutní bolest svalů má ochrannou funkci spojenou s adrenergními reakcemi, chronická bolest svalů zcela ztratila svůj fyziologický ochranný přínos. Chronická bolest svalů se vyznačuje vysokou mírou subjektivního strádání. Pokud přetrvává déle než šest měsíců, stává se často rezistentní na terapii.

Svalový výzkum prováděný během posledních tří desetiletí ukázal, že subjektivní a objektivní charakteristiky svalové bolesti jsou zcela odlišné od lépe prozkoumané bolesti kůže (Duez, Qerama, Jensen, & Fuglsang-Frederiksen, 2015).

Její specifikace jsou:

- Subjektivní rozdíly oproti jiným formám bolesti
- Svalová bolest je těžko lokalizovatelná
- Vnímaná hluboko v tkáni
- Křečovitá a dlouhotrvající

Svalová bolest se časově vyvíjí se zpožděním několika sekund, protože je přenášena do CNS prostřednictvím nemyelinizovaných aferentních vláken skupiny IV s malým průměrem (0,25-1,5  $\mu\text{m}$ ) a pomalou přenosovou rychlostí (0,5-2 m/s). Bolest svalů však také způsobuje vážné vegetativní a afektivní poruchy (Graven-Nielsen & Mense, 2001).

Bolest svalů má silnou tendenci přenášet bolest do jiných tkáňových oblastí.

Zvláštností svalové bolesti je její schopnost vyvolat přenesenou bolest v jiných tkáňových oblastech, například v jiných svalech, ale také ve šlachách, fasciích a kostech (referred pain, přenesená bolest). Vnímání svalové bolesti je mnohem intenzivnější než u bolesti kůže. To je způsobeno skutečností, že nociceptivní stimul vyvolaný v míše svalovými nociceptory produkuje silnější zvýšení excitability neuronů míšního rohu než nociceptivní stimul kůže (Duez et al., 2015; Mense, 2003b).

Naproti tomu bolest kůže může být snadno lokalizována. Je ostrá, krátká, nezpůsobuje přenos bolesti do jiných tkáňových oblastí. Rozvíjí se rychle protože jsou kožní nociceptory propojeny se spinálním dorsálním rohem prostřednictvím A $\delta$  vláken se středním průměrem (1-5  $\mu\text{m}$ ) a vyšší přenosovou rychlostí (5-15 m/s) (Mense, 2005, 2008).

## 2.1. Subjektivní diference mezi různými formami bolesti

### **Svalová bolest:**

Obtížně lokalizovatelná, hluboká, dlouho trvající, pomalejší nástup, může být přenesená (jiné svaly, šlachy, kluby), poruchy vegetativního systému, křečovitý charakter bolesti

### **Kožní bolest:**

Dobře lokalizovatelná, povrchová, krátká, pálivá, rychlý nástup a vývoj, málokdy poruchy vegetativního systému a celkové poruchy

## **Orgánová bolest:**

Obtížně lokalizovatelná, hluboká, dlouho trvající zpožděný nástup bolesti, často se přenáší na kůži, křečovitá bolest, časté poruchy vegetativního systému, časté afektivní poruchy (Mense, 1999; Singaravelu, Hoheisel, Mense, & Treede, 2021; Wasner et al., 2002).

Objektivní rozdíly mezi svalovou bolestí a jinými formami bolesti se týkají toho, jak se bolest přenáší a zpracovává v míše a CNS. Aferentní signály svalových nociceptorů produkují silnější přenosové procesy v míše než kožní receptory. Navíc aktivace neaktivních synapsí má za následek aktivnější vnímání bolesti. Oba tyto mechanismy přispívají k časté chronifikaci bolesti svalů.

Svaly jako orgány pohybu mohou být přetíženy nebo naopak insuficientně trénovány, což může negativně ovlivnit proces vlastní reparační (Singaravelu et al., 2021).

### **2.2. Patofyziologie svalové bolesti**

Svalová bolest je zprostředkována excitací nociceptorů (volná nervová zakončení) vazoneuroaktivními látkami (bradykinin, prostaglandin, serotonin, histamin) a vysokými koncentracemi draslíku a H<sup>+</sup>. Bradykinin přímo aktivuje nociceptory, ostatní látky mají primárně senzibilizační účinek (Mense, 2009; Wasner et al., 2002; Wasner et al., 2004).

Všechny vazoneuroaktivní látky se uvolňují subjektivně bolestivými a objektivně tkáň poškozujícími podněty. Aktivované nociceptory jsou spojeny s centrálním nervovým systémem vlákniny skupiny IV s pomalým přenosem.

Jakmile jsou aktivovány svalové nociceptory, uvolňují neuropeptidy (substance P, kalcitonin-genově související peptid [CGRP] a somatostatin), které vedou ke vzniku lokálního

tkáňového edému. Tento jev se označuje jako neurogení zánět. Opět se uvolňuje bradykinin a prostaglandin, což dále zhoršuje bolest a vede k následným poruchám ve zbývajících svalových partiích. Protože množství uvolněných látek je poměrně malé, nociceptory nejsou excitovány přímo, ale pouze senzibilizovány. Lokální zánět ve svalech proto nezpůsobuje žádné silné spontánní bolesti, ale spíše dysestezii a pocit slabosti (Mense & Schiltewolf, 2010; Niddam & Hsieh, 2009).

Spontánní bolest je spíše způsobena změnami v klidové aktivitě neuronů, jak se vyskytuje u chronické svalové bolesti. Klidovou aktivitu ovlivňuje oxid dusnatý, který je důležitým neuromodulátorem. Oxid dusnatý je syntetizován neurony míšního rohu a působí na presynaptické zakončení vytvářením mechanismu pozitivní zpětné vazby. V důsledku toho má oxid dusnatý u bolesti inhibiční účinek. Uvolňování oxidu dusnatého vyvolané rázovými vlnami vysvětluje, proč rázové vlny zmírňují bolest (Graven-Nielsen, Arendt-Nielsen, & Mense, 2002).

Kromě lokálního uvolňování neuropeptidů mohou být akční potenciály přenášeny také antidromickým směrem prostřednictvím tzv. axonového reflexu a dostat se tak k nociceptorům bez primární excitace, kde jsou uvolňovány další neuropeptidy.

Mechanismus axonového reflexu je proces, který se vyskytuje na nociceptivních zakončeních a je relevantní pro všechny formy bolesti. Například u neuropatické bolesti způsobuje neurogení zánět s hyperémií a edémem v oblasti distální inervace v důsledku komprese míšních nervů a je tak zodpovědný za projekci bolesti do periferie (Mense, 2005).

Ve většině případů končí bolestivost vytvořením lokálního tkáňového edému a nápravou léze. Za nepříznivých podmínek však může edém narůst na velikosti a způsobit tak začarovaný

kruh. Podle Travella a Simonsa B je tento mechanismus zodpovědný za tvorbu spouštěcích bodů.

Stavy jako hyperalgezie a allodynie jsou důsledky prodlouženého nociceptivního podráždění: Déle trvající senzibilizace svalových nociceptorů vede ke dvěma fenoménům, které se v klinické praxi často vyskytují: na jedné straně hyperalgezie, kdy podněty bolesti způsobují bolest, která je silnější, než se očekává vzhledem k intenzitě podnětu, a na straně druhé allodynie, ve kterých jsou normálně nebolestivé podněty vnímány jako bolestivé (Niddam, Chan, Lee, Yeh, & Hsieh, 2007).

### 2.3. Chronická dlouhodobá bolest

Přetrvávající bolest svalů způsobuje chronifikaci bolesti díky následujícím mechanismům:

- periferní senzibilizace svalových nociceptorů prostřednictvím vazoneuroaktivních látek
- zvyšuje se počet nociceptorů obsahujících látku P40
- aktivace axonového reflexu
- centrální senzibilizace, selhání inhibičních interneuronů supraspinálního sestupného antinociceptivního systému

Pokud lokální bolest svalů přetrvává delší dobu, způsobuje poruchy ve větší oblasti a má tendenci se šířit do dalších oblastí. Z periferní bolesti se stává bolest centrální (Mense, 2004a, 2009).



## 2.4. Příčiny lokální svalové bolesti:

Lokální bolest svalů má tři hlavní příčiny:

- mechanické trauma (pohmoždění, podvrtnutí, natržení svalů, křeče)
- zánět
- ischemické stavy

Všechny tři příčiny vedou k uvolňování vazoneuroaktivních látek a následně ke senzibilizaci a aktivaci svalových nociceptorů (Graven-Nielsen, Mense, & Arendt-Nielsen, 2004; Wasner et al., 2002; Wasner et al., 2004).

Ischémie jako hlavní faktor určující bolest svalů (Lee, Wang, Chiang, Hsieh, & Hsieh, 2012)

Mezi třemi výše uvedenými příčinami je ischémie hlavním faktorem určujícím bolestivost klinické “indurace svalů”. V závislosti na jejich specifických vlastnostech jsou stavy svalového tvrdnutí klasifikovány do následujících patologií:

- křeč
- stavy zvýšeného svalového tonu
- kontraktury
- měřitelnou EMG aktivitu lze pozorovat u křečí
- zvýšený svalový tonus, kontraktury - včetně spouštěcích bodů nevykazují žádné zvýšení povrchové EMG aktivity

Křeče jsou klinicky nejznámější formou svalové indurace a jsou obecně označovány jako „svalové napětí“. Křeč je trvalá, mimovolní svalová kontrakce, která je spojena se zvýšenou aktivitou EMG. Křeče mohou způsobit bolest, ale často nejsou žádné příznaky (Mense, 2011).

V minulosti byla tato definice výchozím bodem pro rozvoj široce zavedeného, ale vědecky již neudržitelného konceptu bolesti který předpokládá, že svalová bolest způsobuje křeče ve stejném svalu, a tím bolest dále zhoršuje. Tato rovnice spasmu se svalovou bolestí však není správná a je většinou propagována za účelem zvýšení užívání myotonolytik. Svalová bolest normálně nevykazuje žádnou EMG aktivitu (Singaravelu et al., 2021; Valouchova & Lewit, 2009).

Ve většině případů je příčina křečí umístěna mimo postižený sval.

Pokud tedy bolestivý sval vykazuje zvýšenou EMG aktivitu v důsledku spasmu, neznamená to automaticky, že za spasmus v postiženém svalu je zodpovědná lokální bolest svalů. Ve skutečnosti je ve většině případů tento stav vyvolán poruchou lokalizovanou mimo bolestivý sval, která způsobuje reflexní svalový spasmus. Příkladem tohoto jevu je podráždění velkých kloubů, fasetových kloubů, kloubních pouzder, vazů, šlach, žizev, vnitřních orgánů, spouštěcích bodů v jiných svalech a poruchy CNS.

Křeče jsou většinou způsobeny faktory umístěnými mimo bolestivý sval a nejsou k dispozici žádné objektivní metody měření. Navíc křeče zůstávají nedotčeny držením těla a nelze je odstranit záměrnou relaxací (Niddam & Hsieh, 2009).

## 2.5. Podmínky zvýšeného svalového tonu

Psychický stres a RSI (repetitive stress theory) zvyšují svalový tonus. Existuje výrazný rozdíl mezi křečemi a bolestí způsobenou mírným zvýšením svalového tonusu. Ta je způsobena psychickým stresem, úzkostí, nadužíváním v důsledku často opakovaných malých pohybů

(poranění z opakované zátěže), špatné držení těla a neefektivní využívání netrénovaných svalů. Tato forma zvýšení svalového tonu vykazuje zvýšenou EMG aktivitu.

Tyto stavy se léčí snadněji než křeče, protože reagují na biofeedback. Kontraktury jsou charakterizovány lokálním svalovým zkrácením způsobeným fixací aktin-myosinové vazby, které nejsou odhaleny v povrchovém EMG. Vedou k svalovému ztluštění a stlačení intramuskulárních kapilár. Spouštěcí body jsou lokální svalové kontraktury které vznikají z různých příčin (Fernandez-De-Las-Penas, Cuadrado, Arendt-Nielsen, Simons, & Pareja, 2007).

## 2.6. Svalové řetězcové reakce

Svalové řetězové reakce způsobují dysfunkci dříve zdravých svalů. Z dlouhodobého hlediska bolestivá svalová dysfunkce způsobí nadměrné namáhání druhého svalu, které zpočátku kompenzuje slabost prvního svalu. Nadměrně používaný druhý sval bude časem bolestivý, a tak dojde k inhibici reflexu. Tím se do hry dostává třetí sval, který reaguje podobným způsobem. Tyto reakce svalového řetězce vedou ke kaskádě svalové dysfunkce.

Léčba reakcí svalového řetězce je velmi komplexní, protože rozdíl mezi primární poruchou a následnými onemocněními je obtížné rozeznat. Tento stav daleko přesahuje lokální syndromy svalové bolesti a vyžaduje důkladnou znalost funkčních svalových řetězců (Simons, 2008).

## 2.7. Přenesená bolest

Přenesená bolest (transferred pain, referred pain) způsobuje chybnou projekci bolesti v mozku po přeměrování informací ve spine (Fernandez-De-Las-Penas et al., 2007; Simons, 2004).

Lokální svalová bolest je vnímána v místě jejího vzniku podrážděním nociceptorů. Přenesená bolest je na druhé straně charakterizována skutečností, že je pociťována distálně od jejího

zdroje ve tkáni, kde nejsou aktivovány žádné nociceptory. Uvedená bolest se může projevit samostatně nebo v kombinaci s lokální bolestí svalů. Doporučená bolest je nejlépe známá tím, že je spojena se svalovými spouštěcími body. Vyskytuje se s relativně konstantními vzory a je charakteristická pro jednotlivé svaly, ve kterých vzniká. Nicméně mezi pacienty existují významné rozdíly, pokud jde o jejich specifické vzorce bolesti. Detailní znalost těchto vztahů umožňuje zkušeným terapeutům léčit skutečné aktivátory bolesti, místo aby se soustředili pouze na místo, kde je bolest vnímána, jak je tomu v obecné praxi.

Přenesená bolest je způsobena lézí vyvolaným přeměrováním informace o bolesti v míše v důsledku centrální senzibilizace. To má za následek chybnou lokalizaci bolesti v mozku. Jinými slovy, nociceptivní informace se v míše ubírají špatnou cestou a dostávají se k somatotopicky nevhodným neuronům dorzálního rohu v důsledku reorganizace a rozšíření oblasti jejich vlivu. Příčinou tohoto jevu je to, že synapse s nízkou synaptickou účinností, které normálně nepřenášejí žádné signály, vykazují zlepšenou přenosovou kapacitu v důsledku uvolňování substance P a C0RP29 z excitovaných svalových propojení. Tento mechanismus se aktivuje, jakmile propojený sval prodělá bolestivé změny. Zvláště pozoruhodná je skutečnost, že účinnost centrálních synapsí může být zlepšena silným nociceptivním stimulem indukovaným nociceptory v periferních oblastech těla.

Přenesená bolest se primárně vyskytuje, když je lokální svalová bolest velmi intenzivní nebo když přetrvává po dlouhou dobu nebo byla spouštěna opakovaně(Duez et al., 2015).

Přenesená bolest je ovlivněna dráždivostí spouštěcích bodů a silou působícího tlaku.

Přenesená bolest je primárně vyvolána v samotném spouštěcím bodě. Může však být vyvolána i ve vzdálenosti do 4 cm od spouštěcího bodu, častěji kolem aktivních spouštěcích bodů

(47%) než kolem latentních (23%). Míra vnímané lokální a odkazované bolesti závisí na rozsahu podráždění spouštěcího bodu a ne na velikosti svalu. Kromě toho je přenesená bolest také určena externím tlakem aplikovaným při vyšetření. Je snazší ho vyvolat v místě spojení kost/šlacha a ve šlachách než ve svalovém břišku.

Přenesená bolest není specifická pro myofasciální bolest. Může být také vyvolána v jiné tkáni než ve svalech.

Přenesená bolest není specifická pro syndrom myofasciální bolesti, ale je pouze relativně snadno vyvolatelná, a proto je všeobecně známo, že je spojena se spouštěcími body. Až u 25 % případů bolesti ji lze vyvolat u zdravých lidí. Byly nalezeny citlivé body ve svalech, které nebyly žádnými spouštěcími body, ale byly schopny vyvolat uvedenou bolest. Na druhou stranu jsou ve svalech bezbolestné napjaté pruhy bez spouštěcích bodů (Graven-Nielsen et al., 2004; Mense, 2003a).

Uvedená bolest může mít původ i v jiné tkáni než ve svalech, jako jsou velké klouby, fasetové klouby, kloubní pouzdra periost, fascie, šlachy, jizvy a zejména vnitřní orgány. Tato bolest se může týkat svalů a způsobit svalové křeče, bolest nebo dokonce inhibici. Příklady takového odkazování na bolest jsou bolest na hrudi vedoucí k infarktu, bolest v boku způsobená ledvinovými kameny, bolest v levém rameni spojená s onemocněním žlučníku a bolest ve střední a dolní hrudní páteři vyvolaná poruchami slinivky břišní (Lewit & Olsanska, 2004).

Vzhledem ke svému vyzařujícímu charakteru a silné intenzitě se často předpokládá, že přenesená bolest je výsledkem podráždění periferních nervů v důsledku radikulárního dráždění. Tento předpoklad však není správný. Také přenesená bolest není omezena na hranice dermatomů nebo myotomů. V důsledku toho ji nelze identifikovat konvenční neurologickou diagnostikou. Na druhou stranu mnoho pacientů a terapeutů má tendenci interpretovat vyzařující bolest jako bolest nervů příliš unáhleně, jako je tomu v případě pseudoischias způsobeného podrážděním spouštěcích bodů v hýždřových svalech. Skutečnost,

že svaly mohou způsobit bolest, je stále překvapivě málo známá a často vede k neúmyslným chybným diagnózám a neúspěšným léčebným postupům.

V mnoha případech je lokalizovaná svalová bolest pouze výchozím bodem hledání skutečné příčiny bolesti, uvážíme-li, že sval je místem manifestace nociceptivního vstupu z mnoha jiných tkání. To se odráží v tom, že u 50 % pacientů navštěvujících lékaře pro svalovou bolest přesná diagnóza není možná. To znamená, že svalová bolest je charakteristickým, ale nespecifickým příznakem, který často vyžaduje rozsáhlé odlišnosti v přístupu.

### 2.8. Svalový spouštěcí bod (myofascial trigger point, MTrP)

Spouštěcí body jsou považovány za specifický typ ischemické svalové bolesti.

Spouštěcí body se stávají autonomní vůči své příčině a nemohou se spontánně léčit.

Spouštěcí body jsou hyperdráždivá místa ve svaly, která se vyskytují ve formě hmatných uzlíků v napjatém pruhu svaly(Fernandez-De-Las-Penas et al., 2007).

Spouštěcí body jsou specifickým typem ischemické nebo lokální svalové bolesti, která je často spojena s přenesenou bolestí. Zatímco spouštěcí body a normální svalová bolest mají identické mechanismy bolesti, liší se intenzitou bolesti a rozvojem onemocnění. Normální bolest svalů má omezenou dobu trvání a normálně se hojí spontánně nebo s menší terapeutickou pomocí. Svalové spouštěcí body jsou však charakteristické svou autonomní povahou a nedostatečnou samoléčebnou schopností. Mohou přetrvávat po celá léta a stát se nezávislými na kauzální onemocnění. Vzhledem k jejich přetrvávající bolestivosti mají spouštěcí body často za následek chronifikaci bolesti.

Historicky byly termíny “spouštěcí bod” a “myofasciální” vytvořeny Arthurem Steindlerem (1940), který je použil v širším smyslu jako “aktivátory bolesti měkkých tkání”. To je důvod,

proč se v lékařské literatuře termín “myofasciální bolest” často používá k označení jakékoli bolestivé změny v měkkých tkáních muskuloskeletálního systému, bez ohledu na její příčinu.

Informace o svalových spouštěcích bodech (MTrP), které dnes známe, se však staly známými až díky výzkumu Janet Travell, která jako první spojila myofasciální bolest se svalovými spouštěcími body (Low et al., 2018).

Ještě předtím, než byly poprvé popsány svalové spouštěčové body, byly svalové uzly klinicky zjevné a připisovány různým strukturám a nemocem; byly popsány jako lokální struktura (myogelóza, svalová jizva, svalové ztvrdnutí) nebo spojené se záněty a revmatoidní (fibrozitida, svalový revmatismus) patologie v závislosti na jejich bolestivosti (myalgie).

### 2.8.1. Patofyziologie

Bolestivé svalové uzly spouštěcího bodu jsou lokální kontraktury sarkomer, které vedou k rozsáhlé aktivitě nociceptorů. Patomechanismus je připisován lokální energetické krizi a lze jej nejlépe vysvětlit “integrovanou hypotézou” dysfunkce koncové ploténky.

Spouštěcí body pocházejí z lokálních svalových lézí - vyplývajících například z použití napětí nebo zranění - což způsobuje neuromuskulární dysfunkci ploténky. To vede k nadměrnému uvolňování acetylcholinu v synaptické štěrbině, což spouští vysokofrekvenční miniaturní endplate potenciály a tím trvalou depolarizaci. Tento potenciál koncové desky lze experimentálně odhalit jako spontánní elektrická aktivita (SEA) v EMC jehly. Protože autonomní nervový systém moduluje množství uvolněného acetylcholinu na motorické koncové ploténce, může být EMG aktivita spouštěcího bodu zvýšena psychickým stresem.

Spouštěcí body jsou způsobeny neuromuskulární dysfunkcí koncové ploténky

Dysfunkce koncové ploténky vede k trvalé kontraktuře aktin-myosinových filament. Protože je tato kontraktura omezena na oblast pod postiženou koncovou ploténkou, dochází pouze k podprahové depolarizaci a nespouští se žádný akční potenciál. V důsledku toho povrchové EMG nevykazuje žádné změny.

Lokální ischemie a hypoxie jsou hlavními příčinami přetrvávajících kontraktur a nociceptorové activity. Kromě tvorby kontrakčních uzlů se zbývající části svalového vlákna natahují pasivně, čímž se vytvářejí napjaté pruhy ve směru svalových vláken. Kontrakční uzel stlačuje cévní kapiláry a způsobuje lokální ischemii. Nepřetržitá aktivace aktin-myosinových vláken spotřebovává energii a vede k lokální hypoxii. Jsou-li přítomny oba jevy, tj. nedostatek energie v důsledku ischemie na jedné straně a zvýšená spotřeba energie pro aktivaci Ca-pumpy potřebná pro separaci aktinu a myosinu na straně druhé, dojde k rozvoji lokální energetické krize. Spouštěcí bod se posune do stavu, který je srovnatelný s místní rigor mortis. Intramuskulární měření kyslíku odhalilo závažný nedostatek kyslíku v centru myogelózy.

Lokální ischemie senzibilizuje nociceptory uvolněním známých mediátorů zánětu (bradykinin, prostaglandin, serotonin, histamin atd.) a způsobuje tak místní citlivost vůči tlaku spouštěcího bodu. Kromě toho má ischemie za následek další poškození dysfunkční koncové ploténky a dostává se do začarovaného kruhu.

Nedávný výzkum lidských spouštěcích bodů tuto teorii potvrdil. V bezprostřední blízkosti aktivních spouštěcích bodů byly totiž zjištěny zvýšené hladiny senzibilizujících látek (látka P, CGRP, bradykinin, H<sup>+</sup>, serotonin, cytokiny, noradrenalin). Vyšetřovaní pacienti však také vykazovali zvýšené hodnoty v jiných svalových oblastech, které nejsou ovlivněny spouštěcími body, což kromě lokálního fenoménu spouštěcích bodů naznačuje systémové onemocnění nebo dispozice. Po jednorázovém ošetření aktivních spouštěcích bodů suchým



jehlováním došlo k výraznému snížení lokálně zvýšené hladiny senzibilizujících látek v krvi a snížení bolesti.

Zvýšené hladiny senzibilizujících látek se nacházejí v blízkosti lidských spouštěcích bodů. Spouštěcí body představují lokální svalové kontraktury, a jsou tedy klasifikovány jako lokální svalová bolest vyvolaná ischemií. Kvůli energetické krizi (ischémie, hypoxie) mají spouštěcí body tendenci přetrvávat po dlouhou dobu, a proto vyžadují aktivní léčbu (Low et al., 2018; Meinders et al., 2022b, 2022c; Mense, 2004b; Wasner et al., 2004).

### 2.8.2. Aktivátory

U posturálních svalů u lidí s malou fyzickou aktivitou jsou spouštěcí body ovlivněny nejvíce. Akutní nebo chronické přepětí je častým aktivátorem spouštěcích bodů.

Obecně platí, že spouštěcí body se vyskytují ve vyšší míře u lidí, kteří se v každodenním životě věnují malé fyzické aktivitě, ale mají občasné intervaly silné fyzické zátěže. Osoby, které pravidelně silně zatěžují svaly, jsou k této poruše méně náchylné. Svaly primárně ovlivněné spouštěcími body zahrnují posturální svaly na krku, rameni a pánevním pletenci.

Ve většině případů jsou spouštěcí body aktivovány akutním, přetrvávajícím nebo opakovaným mechanickým přepětím. Kromě toho existují přetrvávající a zhoršující faktory, které mohou aktivované spouštěcí body udržet vitální nebo je zhoršit, i když původní aktivátor již neexistuje. Přetrvávající a zhoršující faktory se často liší od aktivátorů spouštěcích bodů.

Akutní svalové přepětí nastává v důsledku přímého traumatu, které způsobuje poškození membrány svalové buňky a sarkoplazmatického retikula. To vede ke zvýšenému uvolňování vápníku a k aktivaci aktinových/myosinových filamentů. Známými příklady tohoto jevu jsou přímá svalová poranění (podvrtnutí, natržení svalových vláken, zhmoždění). I když k

nehodám dojde při pomalé rychlosti, u mnoha pacientů se zjistí, že mají svalové spouštěcí body (Niddam et al., 2007).

Jiné formy akutního přepětí zahrnují excentrické a centrické trakce, které se vyskytují při sportu nebo silovém tréninku. Podle Gerwinna mohou být spouštěcí body aktivovány jak excentrickými cvičeními, na která osoba není zvyklá, tak maximálním nebo submaximálním koncentrickým cvičením, o kterém se předpokládá, že způsobuje nepravidelné prodlužování vláken a poškození jednotlivých buněk (Mense, 2009).

Trvalé přepětí je způsobeno posturálními anomáliemi a mohou zahrnovat:

- skolióza
- různé délky nohou
- posturální nestabilita s hyperkyfózou hrudní páteře a hyperlordózou bederní páteře a krční páteře
- držení hlavy v předklonu
- hypermobilita
- torze pánve

Opakované přepětí je způsobeno v případě slabých svalových kontrakcí, poškození z opakované námahy. Dochází k svalovým vláknům typu 1. Vzhledem ke své velikosti jsou tato aktivovaná jako první a deaktivovaná jako poslední, když jsou přítomny mírné, trvalé svalové kontrakce. Protože nedochází k žádné střídavé aktivaci svalových vláken různé velikosti, jako by tomu bylo např. v případě silnějších kontrakcí jsou malá vlákna metabolicky přetížena.

Spouštěcí body jsou příčinou mnoha poruch tohoto pohybového aparátu

Navíc jsou spouštěcí body průvodním jevem téměř všech poruch pohybového aparátu, jako je radikulopatie, diskopatie, osteoartróza, tendinitida, další spoušťové body, CMD migréna, tenzní bolest hlavy, syndromy komprese periferních nervů, komplexní bolestivé syndromy a výše zmíněné posturální anomálie.

Jiné aktivátory a udržující faktory, které nejsou spojeny s muskulokosterními systémy zahrnují:

- viscerální onemocnění, včetně nádorů,
- stres
- psychické a psychiatrické poruchy
- nedostatek spánku
- vlhké a chladné klima
- nutriční deficity (nedostatek vitamínů B<sub>1</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>, kyselina listová; vitamín C, vitamín D, železo, hořčík, zinek)
- hormonální poruchy (hypotyreóza, hyperparatyreóza)

Závažnost symptomů spouštěcích bodů je primárně modulována autonomním nervovým systémem.

### 2.8.3. Diferenciace spouštěcích bodů

Podle klinických příznaků se rozlišují různé typy spouštěcích bodů. Jsou diferencovány vývojově a klinicky. Aktivní spouštěcí body jsou spouštěcí body, které mohou způsobit syndrom spontánní lokální nebo přenesené bolesti a parestázie. Jsou umístěny v napjatém pásu. Aktivní spouštěcí body se vyvíjejí ve středním věku a způsobují bolest.

Pasivní (latentní) spouštěcí body jsou klinicky inaparentní spouštěcí body, ale mají stejný potenciál jako aktivní spouštěcí body, pokud jsou provokovány tlakem nebo napětím. Obvykle se vyvíjejí v pokročilém věku života a projevují se především omezenou pohyblivostí.

Aktivní i pasivní spouštěcí body jsou citlivé na palpaci (Duez et al., 2015; Fernandez-De-Las-Penas et al., 2007).

Satelitní spouštěcí body se vyvíjejí v oblasti, na kterou odkazuje primární spouštěcí bod.

Sekundární spouštěcí body se vyskytují ve svalech, které sousedí s místem primárního spouštěcího bodu (synergisté, antagonisté). Vyvíjejí se v důsledku poruchy pohybu způsobené primárním spouštěcím bodem.

Normální lehká fyzická aktivita a nepřítomnost udržujících faktorů může způsobit, že se aktivní spouštěcí bod spontánně přemění zpět na pasivní (latentní). V mnoha případech však spouštěcí body přetrvávají nebo se stávají autonomními navzdory léčbě jejich příčiny. Tento jev se označuje jako syndrom autonomního spouštěcího bodu. Jedním z příkladů je úspěšná disektomie pseudoischias. Spouštěcí body původně aktivované kompresí nervů v hýžd'ových svalech, zevních rotátorech (např. m. piriformis) a m. quadratus lumborum mohou přetrvávat i přes eliminaci komprese kořenu. V důsledku toho způsobují místní bolest a přenášejí bolest do nohy. Intenzitou se jen málo liší od původní nervové bolesti.

#### 2.8.4. Příznaky

Účinky spouštěcích bodů jsou rozmanité. Nejdůležitější je, že způsobují bolest vnímanou jako

- bolest hlubokých tkání
- lokální nebo přenesená bolest
- částečně invalidizující bolest, která je svou intenzitou podobná srdečnímu infarktu, kostní zlomenině nebo jako kolika

Přestože spouštěcí body nejsou nikdy život ohrožující, mají někdy extrémně negativní dopad na kvalitu života, napodobují neurologické algie: senzorické, motorické a autonomní poruchy.

Spouštěcí body způsobují kromě bolesti také senzorické, motorické a autonomní poruchy.

Poruchy čítí napodobují neurologickou ztrátu s dočasnou necitlivostí a paresteziemi

(dysestezie, hypestezie). V důsledku centrální a periferní senzibilizace vedou spouštěcí body také k hyperalgezi a alodynii (Mense, 2011).

Motorické deficity se projevují jako:

- ztuhlost
- svalové zkrácení s omezeným pohybem
- svalová slabost (reflexní inhibice bez atrofie)
- poruchy koordinace
- nadměrná aktivita
- raná únava
- opožděné zotavení po zátěži

Ve vzácných případech mohou být autonomní poruchy doprovázeny změnami teploty kůže v důsledku vazokonstrikce nebo vazodilatace, slzení, piloerekce a proprioceptivních deficitů s

nejistou chůzí, vertigem a tinnitem. Konečně přímý tlak na spouštěcí body během spánku může způsobit poruchy spánku (Meinders et al., 2022c; Mense & Schiltewolf, 2010).

#### 2.8.5. Dlouhodobé změny ve svalech

Pokud porucha přetrvává delší dobu, dojde k následným změnám spouštěcího bodu nebo jiných nepřímo ovlivněných struktur. Spouštěcí bod může zaznamenat nevratné strukturální změny. Biopsie svalových kontrakcí uzlů odhalily ztrátu myofibril a prázdné sarkolema. Časový okamžik, kdy se reverzibilní jev spouštěcího bodu vyvine do trvalého poškození tkáně, není známý ani měřitelný. Když nastane tento okamžik, jakýkoli pokus o obnovení normální svalové funkce zůstane neúspěšný.

#### 2.8.6. Účinky na pohybový aparát a zpracování bolesti

Poruchy vyplývající z přetížení svalů se vyskytují v oblastech kolem spouštěcích bodů. Tyto funkční deficity se šíří z jednoho svalu do druhého, a tak vedou k reakcím svalového řetězce. Pokud jsou postiženy šlachy, přetížení způsobí zánět šlach úponů a spouštěčové body úponu. Kromě chronifikace centrální nervové bolesti je často pozorováno, že se bolest šíří do periferních oblastí. Na rozdíl od uvedené bolesti taková bolest vyzařuje přímo z původního bolestivého místa.

#### 2.8.7. Diagnostika klinickým vyšetřením

Spouštěcí body jsou diagnostikovány primárně na základě subjektivních kritérií. Laboratorní diagnostika, v současnosti dostupná rutinní elektromyografie nejsou vhodné pro identifikaci jednotlivých bodů v každodenní klinické praxi.

Existuje v současnosti zobrazovací technika, která se může stát diagnostikou budoucnosti: elastografie, metoda založená na ultrazvukovém měření a barevném zobrazení k zobrazení tuhosti různých oblastí tkáně po vnější mechanické kompresi. Elastografie byla původně

vyvinuta k identifikaci nádoru měkkých tkání (prsni tkáň, štítná žláza) a byla ověřena jako účinný diagnostický nástroj (Meinders et al., 2022a).

Důležitý je popis bolesti, pohybový test a palpační vyšetření. Výběr svalů, které mají být vyšetřeny, vyžaduje znalost charakteristických vzorců svalové bolesti. Zpočátku se řídí pacientovým popisem vnímané bolesti, následuje vyšetření pohybu svalu, tahové a natahovací testy. Cílem tohoto postupu je identifikovat bolest a zkrácení svalů vyvolané spouštěcími body.

Po těchto krocích následuje palpance svalů, u kterých existuje podezření, že vykazují napjaté pruhy a kontrakční uzly. Napnuté proužky se stanou patrnými při stlačení plochým pohmatem kolmo ke směru vlákna. Poté, co byl identifikován napnutý pruh, je pruh vyšetřen na nodulární indurace (spouštěcí body). Ty se nacházejí primárně v oblasti koncové ploténky svalu (Mense, 2011).

Identifikované spouštěcí body jsou zkoumány z hlediska jejich citlivosti vůči tlaku: jsou; bolestivější než okolní sval a často způsobují přenesenou bolest. Stupeň lokální bolesti a přenesení bolesti závisí na rozsahu podráždění spouštěcích bodů a zvyšuje se se zvyšujícím se aplikačním tlakem.

Pokud pacient rozpozná bolest vyvolanou výše uvedeným způsobem, musí být do léčby zahrnut související spouštěcí bod. Palpance může příležitostně způsobit lokální záškuby. Lokální záškuby mají významnou diagnostickou hodnotu, ale nejsou diagnostickým kritériem. Zdá se, že jsou vyvolány místním reflexem, ale je vyvolán palpací, zejména pokud jde o hluboké spouštěcí body. Místní záškuby se nevyskytují u všech pacientů.

Hmatnému uzlíku spouštěcího bodu nelze přisuzovat přítomnost jediného kontrakčního uzlu, protože ten obsahuje pouze jedno svalové vlákno o průměru 50 až 100 um v oblasti kontrakce. V důsledku toho musí být hmatný spouštěcí bod způsoben nahromaděním velkého

počtu kontrakčních uzlů v přilehlých svalových vláknech. Kromě toho je oblast, ve které se nacházejí všechny tyto kontrakční uzly, charakterizována edematózním otokem v důsledku uvolňování bradykininu a substance P, a je tak snadněji nahmatatelná (Mense & Schiltewolf, 2010; Niddam et al., 2007; Wasner et al., 2004).

Subjektivní diagnostika poskytuje pro většinu vyšetřujících malou spolehlivost výstupu.

I když se výše popsaná palpační diagnostická kritéria mohou zdát účinná, je extrémně obtížné je standardizovat v klinické praxi. Kromě skupiny specialistů na spouštěcí body, kteří jsou vysoce kvalifikovaní v manuálních technikách a kteří manuální vyšetřovací metodě přisuzují vysokou spolehlivost intertesterů, považuje většina vyšetřovatelů za extrémně obtížné diagnostikovat spouštěcí body. To potvrdily i nedávné přehledové články, které kritizují kvalitu studií, které vykreslují pozitivní obraz spolehlivosti ruční palpce. Tato okolnost je jedním z hlavních argumentů kritiků terapie spouštěcích bodů a je jedním z důvodů, proč je terapeutický přístup v lékařské komunitě velmi kontroverzní.

#### 2.8.8. Klasické terapie

Aplikace tlaku a protahování svalů jsou užívány jako klasické terapie. Vzhledem k minimální samoléčivé schopnosti spouštěcích bodů a jejich selhání reagovat na reflexní léčbu, vyžadují specifické terapeutické modality. Podle M. Lange je jednou z nejúčinnějších technik aplikace silného tlaku na svalové uzly (gelotripsie) s následným protažením svalů.

Pokrytí nataženého svalu by mělo být během léčby zklidněno aplikací chladícího spreje.

Zlepšení výsledků protahování jsou možná postizometrickou relaxací, pomalým výdechem, pohybem očí a reciproční inhibicí.

Mezi další dostupné možnosti léčby svalových spouštěcích bodů patří lokální injekce, suché vpichování jehel, botoxové injekce, ultrazvuk, elektroterapie, laser a aplikace tepla s mírným pohybem (Hoheisel, Reuter, de Freitas, Treede, & Mense, 2013; Reilich et al., 2004).



Terapeutický účinek na spouštěcí bod:

- oddělení pevných aktin-myosinových vazeb
- zlepšení místního krevního oběhu (reaktivní hyperémie) a vyřešení energetické krize vyvolané ischemií
- snížení koncentrace vazoneuroaktivních látek
- odstranění kontrakčních uzlů

Medikamentózní léčba kyselinou acetylsalicylovou, paracetamolem, NSAID, metamizolem, tricyklickými antidepresivy a opioidy je účinná jako adjuvantní symptomatická léčba, ale sama o sobě nestačí k zajištění úspěšné léčby trigger pointů.

Doporučují se různá následná opatření: opakovaný mírný pohyb v celém rozsahu pohybu, vlhké teplo, elektrická stimulace zaměřená na mírnou cyklickou svalovou kontrakci, biofeedback a aplikace fenoxylbenzaminu.

#### 2.8.9. Extramuskulární spouštěcí body

Spouštěcími body indukovanou bolest lze také nalézt v jiné tkáni než svaly, mezi nimi kůže a zjizvená tkáň, fascie, vazy, šlachy a periost.

Z klinického hlediska hrají klíčovou roli spouštěcí body, připojení, umístěné v místě připojení šlach ke kostem. Spouštěcí body připojení jsou velmi časté a brání úspěšné léčbě svalových spouštěcích bodů, dokud nejsou odstraněny. Předpokládá se, že spouštěcí body úponu jsou způsobeny chronickým zkrácením svalů se zvýšeným svalovým tonusem v místě úponu šlachy na kost.

#### 2.8.10. Délka léčby myofasciální bolesti

Délka léčby závisí na rozsahu a vytrvalosti svalového podráždění. Relativně nové spouštěcí body lze úspěšně ošetřit jedním nebo dvěma terapeutickými ošetřeními.

Většina pacientů však vyžaduje opakované ošetření po dobu několika týdnů nebo měsíců k dosažení trvalého odstranění bolestivých míst.

To je způsobeno skutečností, že prodloužený impulsní vstup z nociceptorů má za následek přesměrování a transformační procesy v míše, které udržují bolest „naživu“. Takové procesy přesměrování byly odhaleny v neurofyziociceptorové aktivitě pokusy na zvířatech v případech trvalých svalových lézí (Gleitz & Novak, 2011).

Dalším důvodem je, že zánětlivé změny tkáně zvýší příznaky přetrvávají a mohou dokonce způsobit nevratné strukturální změny spouštěcích bodů.

A konečně, trvání léčby je také určeno postupem léčby. Příznaky bolesti se mohou v průběhu terapie měnit, například když byl aktivní spouštěcí bod úspěšně léčen a předchozí klíčový spouštěcí bod začíná vyvolávat symptomy.

Součet všech těchto ovlivňujících faktorů vysvětluje, proč je téměř nemožné předem odhadnout dobu trvání léčby trigger pointu a liší se případ od případu. Očekávané výsledky terapie a nezbytnou délku léčby je stále obtížnější předvídat, čím déle symptomy bolesti přetrvávají.

Z toho lze vyvodit dva závěry:

Za prvé, fyzioterapeuti by měli být opatrní, aby svým pacientům neslibili, že budou zcela vyléčeni jen proto, že byla zjištěna bolest periferních svalů a/nebo spouštěcí body.

Za druhé, bolest svalů by měla být účinně léčena v rané fázi namísto ztracení drahocenného času zbytečnými konvenčními terapeutickými modalitami.

### 2.8.11. Chyby v léčbě myofasciální bolesti

Myofasciální bolest bývá po nedostatečné diferenciaci diagnostice často chybně interpretována a neadekvátně léčena.

Následující chyby v léčbě myofasciální bolesti způsobují selhání terapie:

Předpoklad, že bolest nemůže být závažná, protože zobrazením neodhalí žádné strukturální léze.

To je důvod, proč je bolest často mylně interpretována, klasifikována jako psychogenní a není léčena adekvátně nebo včas.

Předpoklad, že syndromy myofasciální bolesti jsou samy omezující. To platí pouze pro akutní, nekomplikované spouštěcí body způsobené neobvyklou fyzickou aktivitou. Pokud je pak postižený sval vystaven pouze mírné zátěži, mohou spouštěcí body po jednom až dvou týdnech zmizet. Chronické spouštěcí body, které se staly autonomními vůči své původní příčině, však vyžadují aktivní léčbu.

Předpoklad, že samotná léčba spouštěcího bodu, bez identifikace hlavní příčiny a možných doprovodných stavů, je dostačující.

To platí pouze tehdy, pokud neexistují žádné nebo téměř žádné aktivující, udržující nebo přitěžující faktory. Ve všech ostatních případech bude terapie pouze léčit symptomy a jakékoli zlepšení stavu bude pouze dočasné. V důsledku toho se terapie trigger pointů změní v terapii bolesti a bude se muset pravidelně opakovat s rizikem chronifikace a plastických změn v CNS. Kromě toho může dojít k nevratným strukturálním změnám spouštěcích bodů.

Příklady zahrnují myofasciální bolest při srdečním infarktu, onemocnění břicha, žlučové kameny, ledvinové kameny nebo dokonce zhoubné nádory (bolesti beder a gluteální způsobené intrapelvickými nádory, bolesti hrudníku spojené s karcinomem pankreatu, lokální

bolesti způsobené sarkomy). Čistě symptomaticky orientovaná terapie spouštěcích bodů je opodstatněná pouze tehdy, není-li přítomno žádné život ohrožující onemocnění, a měla by být prováděna pouze po krátkou dobu. Pokud není dosaženo trvalého zlepšení, je k odvrácení poškození pacienta naprosto nezbytná rozsáhlejší diferenciatní diagnostika. Jak je známo, svaly jsou místem manifestace nociceptivního vstupu mnoha dalších typů tkání a dříve či později se projeví symptomy ve virtuální podobě pro všechna závažná onemocnění. První dvě chyby se často dopouštějí přísní zastánci mainstreamové medicíny, kteří zpochybňují existenci spouštěcích bodů kvůli jejich nedostatečné objektivní identifikaci (Cheng et al., 2007; Lofgren, Broman, & Ekholm, 2008).

Poslední dvě chyby se často dopouštějí praktici nelékařských oborů, kteří se soustředí na léčebné techniky díky svému odbornému zaměření na svaly.

Předpokládaným ideálem je dosažení obou cílů: podrobná lokální diagnostika na straně jedné a také adekvátní diferenciatní diagnostika na straně druhé.

## 2.9. Svalové bolesti pánevního dna

### 2.9.1. Vulvodynie

Syndrom chronické pánevní bolesti (CPPS) u žen je nyní uznáván jako poměrně frekventní onemocnění (Bhide, Puccini, Bray, Khullar, & Digesu, 2015; Carvalho, Vieira, & Nobre, 2012; Fenton, 2007; Fenton, Brobeck, Witten, & Von Gruenigen, 2012; Hoffman, 2011; Thibault-Gagnon, McLean, Goldfinger, Pukall, & Chamberlain, 2016). Bylo identifikováno několik podskupin CPPS u žen, přičemž nejčastěji se vyskytující poruchou z podskupin je vulvodynie (Binik, 2010; Desrochers, Bergeron, Khalife, Dupuis, & Jodoin, 2009). Studie financovaná National Institutes of Health (NIH) odhalila, že 15,7 % žen uvedlo bolestivost genitálií přetrvávající  $\geq 3$  měsíce. V jiných studiích byla hlášena míra prevalence v rozmezí 9–12 % (Farrar, Young, LaMoreaux, Werth, & Poole, 2001; Fenton, 2007; Kuo, Ng, &

Chapple, 2015; Luginbuehl et al., 2015; Moller, Josefsson, Bladh, Lilliecreutz, & Sydsjo, 2015). V roce 2015 Mezinárodní společnost pro studium vulvovaginálního onemocnění (ISSVD, International Society for the Study of Women's Sexual Health, ISSWSH) a International Pelvic Pain Society (IPPS) přijala novou terminologii a klasifikační systém vulvální bolesti a vulvodynie, který je založen na důkazech podložených informacích o tomto onemocnění, vyjmenovává typy pánevní bolesti spojené s mnoha organickými onemocněními a akceptuje stav idiopatické vulvodynie, bez jakéhokoli organického důvodu (Bornstein et al., 2016). Tento typ vulvodynie je chronický bolestivý syndrom, který postihuje oblast vulvy. Symptomy, které mají více příčin, obvykle zahrnují chronickou bolest, pálení, bolestivost nebo podráždění ve vaginální oblasti bez přítomnosti identifikovatelné příčiny. Dalšími diskutovanými stavy jsou myofasciální bolest, pánevní hypertonie a spouštěcí body (Bhide et al., 2015; Binik, 2010; Reissing, Binik, Khalife, Cohen, & Amsel, 2004). Standardní terapie spočívá v léčbě neuropatické bolesti (např. pomocí analgetik nebo neuroaktivních látek) (Bourcier; Gentilcore-Saulnier, McLean, Goldfinger, Pukall, & Chamberlain, 2010). Pokud konzervativní léčba není účinná, lze doporučit operaci, což je především chirurgická denervace vulvy (Bergeron et al., 2001; Bornstein et al., 2016; Luginbuehl et al., 2015; Morin & Bergeron, 2009). Jednou z možností je též blokáda spouštěcích bodů lokálním anestetikem. Zdá se, že většina autorů obhajuje přístup založený na akutní terapii. Mnoho pacientů je běžně léčeno, jako by měli infekci, i když žádná infekce nebyla identifikována nebo potvrzena. Jen zřídka lze dosáhnout úplné úlevy od pacientových obtíží. Zásadním problémem pacientů je dlouhotrvající bolest, která vážně ovlivňuje kvalitu jejich života (QoL).

### 2.9.2. Dyspareunie

Dyspareunie je definována jako akutní genitální bolest, která se vyskytuje během nebo po penilně-vaginálním pohlavním styku. I když se tento termín používá pro obě pohlaví,

vyskytuje se mnohem častěji u žen než u mužů (Meana, 2009). Tato dysfunkce byla poprvé popsána ve starověkém Egyptě v Ramesseum Papyrus, nejstarší dochované ilustrované papyrusové roli (Costa Talens & Colorado, 1971). Četnost této dysfunkce se liší v závislosti na období v životě ženy. Podle WHO se frekvence této dysfunkce pohybuje v rozmezí 8–22 %, někteří autoři však uvádějí frekvenci přibližně 7,8 % u žen ve věku 40 let (Latthe, Latthe, Say, Gulmezoglu, & Khan, 2006). Není pochyb o tom, že pohlavní styk spojený s organickou lézí pánve pravděpodobně ve velké většině případů povede k bolesti (Fedele, Bianchi, Boccione, Di Nola, & Parazzini; Mitchell et al., 2017; Seehusen, Baird, & Bode, 2014). Bolesti pánve mohou být přirozeně přítomny v místě zánětu pánve, zánětu poševní sliznice, endometrióze, atrofii hlenu, operacích pánve nebo po mnoha jiných onemocněních. Zde bolest nezávisí pouze na penilně-vaginálním styku (Fedele et al.). Ve své základní definici je dyspareunie u žen prezentována jako idiopatická dysfunkce bez typické organické konstituce, tj. je přítomna pouze s penilně-vaginální penetrací (Simonelli, Eleuteri, Petruccelli, & Rossi; Steege & Zolnoun, 2009). Dysfunkce je často spojena s bolestivými křečemi pánevních svalů. Možná z tohoto důvodu byl do této skupiny zařazen „vaginismus“. Tato dysfunkce je definována jako bolestivý spasmus pánevních svalů, který zcela znemožňuje vaginální průnik. Celý tento komplex byl pojmenován GPPD (genito-pelvic pain nebo penetrační porucha) (Simonelli et al.). Intenzita dyspareunie nebyla definována, dokud Marinoff et al. (Marinoff & Turner, 1992) vytvořili čtyřbodovou stupnici v rozsahu 0-3:

Marinoffova stupnice popisuje omezení bolesti při pohlavním styku:

0= žádná omezení v pohlavním styku

1= způsobuje nepohodlí, ale nebrání pohlavnímu styku

2=často zabraňuje pohlavnímu styku

3=zcela zabraňuje pohlavnímu styku

### 3. Rázová vlna, teorie vzniku, rozdělení a její využití v praxi

V moderní lékařské praxi se používají jak fokusované rázové vlny, tak radiální tlakové vlny. Ačkoli to není z fyzikálního hlediska správné, radiální tlakové vlny se často označují jako radiální rázové vlny. Rázové vlny a tlakové vlny se liší nejen svými fyzikálními vlastnostmi a způsobem vzniku, ale také velikostí používaných standardních parametrů a dosahovanými terapeutickými hloubkami průniku tkání. Planární rázové vlny, označované také jako rozostřené -defocused rázové vlny, jsou speciálním typem soustředěné rázové vlny. Působí povrchově, podobně jako radiální tlakové vlny, ale způsobují jen velmi malou bolest a jejich mechanismus účinku je podobný fokusovaným rázovým vlnám (Gleitz & Novak, 2011; Novak & Medimond, 2009; Russe-Wilflingseder et al., 2013).

#### 3.1. Fokusované rázové vlny

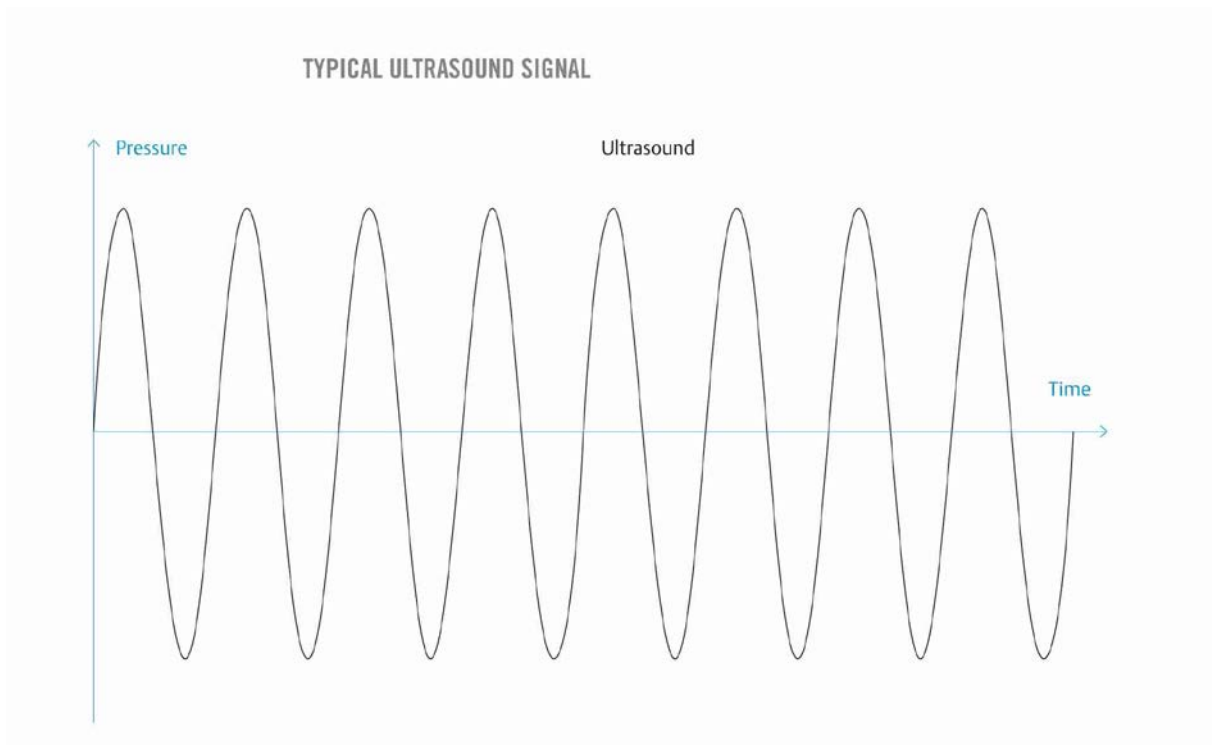
K rázovým vlnám dochází v atmosféře při výbušných událostech, například při úderech blesku, nebo když letadla překročí rychlost zvuku. Rázové vlny jsou akustické impulsy charakterizované vysokými amplitudami kladného tlaku a strmým nárůstem tlaku ve srovnání s okolním tlakem. Rázové a tlakové vlny jsou pulsy, zatímco ultrazvuk je kontinuální oscilace.

Jsou schopny dočasně přenášet energii z místa vzniku do vzdálených oblastí, aby způsobily například rozbití okenních tabulí. Navzdory své podobnosti s ultrazvukem mají rázové vlny podstatně vyšší amplitudy tlaku než ultrazvukové vlny. Z tohoto důvodu je třeba vzít v úvahu efekty strmosti vyplývající z nelinearity v transportním médiu (voda, lidská tkáň).

Ultrazvukové vlny jsou navíc periodické oscilace s omezenou šířkou pásma (obr.). Rázové

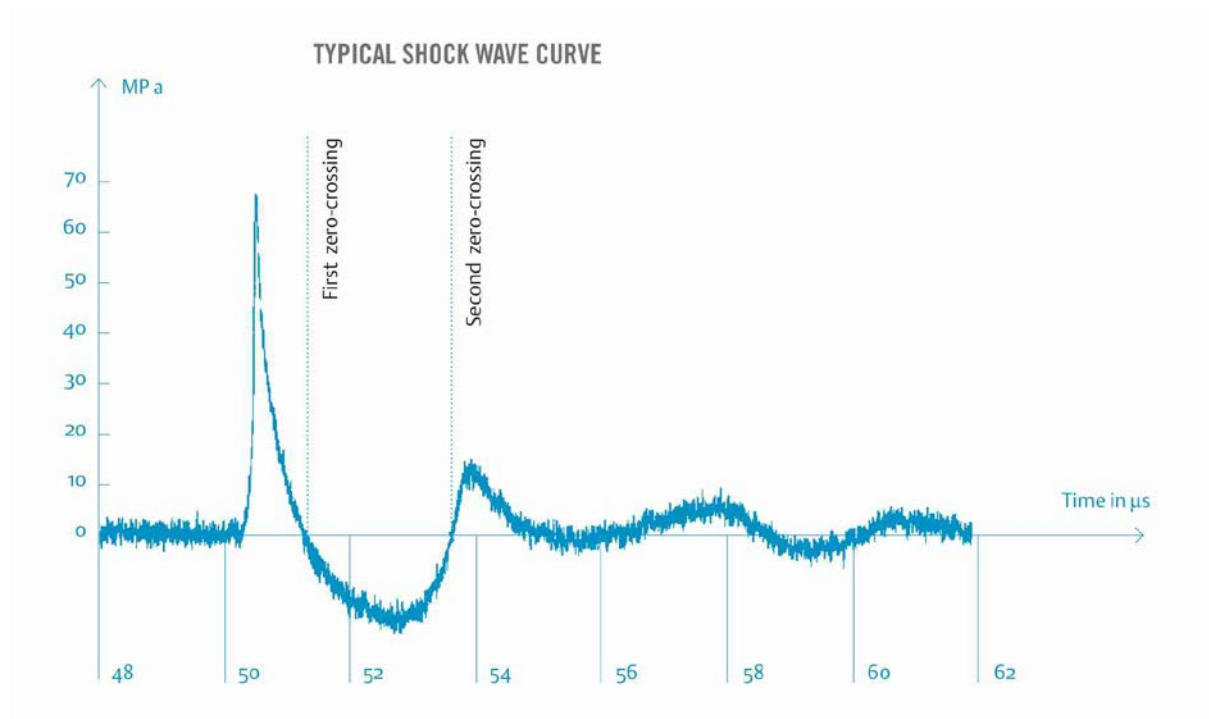
vlny jsou naproti tomu charakterizovány jediným, většinou kladným tlakovým pulzem, po kterém následuje poměrně malá složka tahové vlny (negativní tlakový pulz) (obr.). Takový puls obsahuje frekvence, které se mohou pohybovat od několika kilohertzů do více než 10 megahertzů (Blackmore, Shrivastava, Sallet, Butler, & Cleveland, 2019; Gleitz & Hornig, 2012; Christ et al., 2008).

**Obrázek 1. Typický ultrazvukový signál**





**Obrázek 2. Typická křivka rázové vlny**



### 3.2. Generování fokusovaných rázových vln

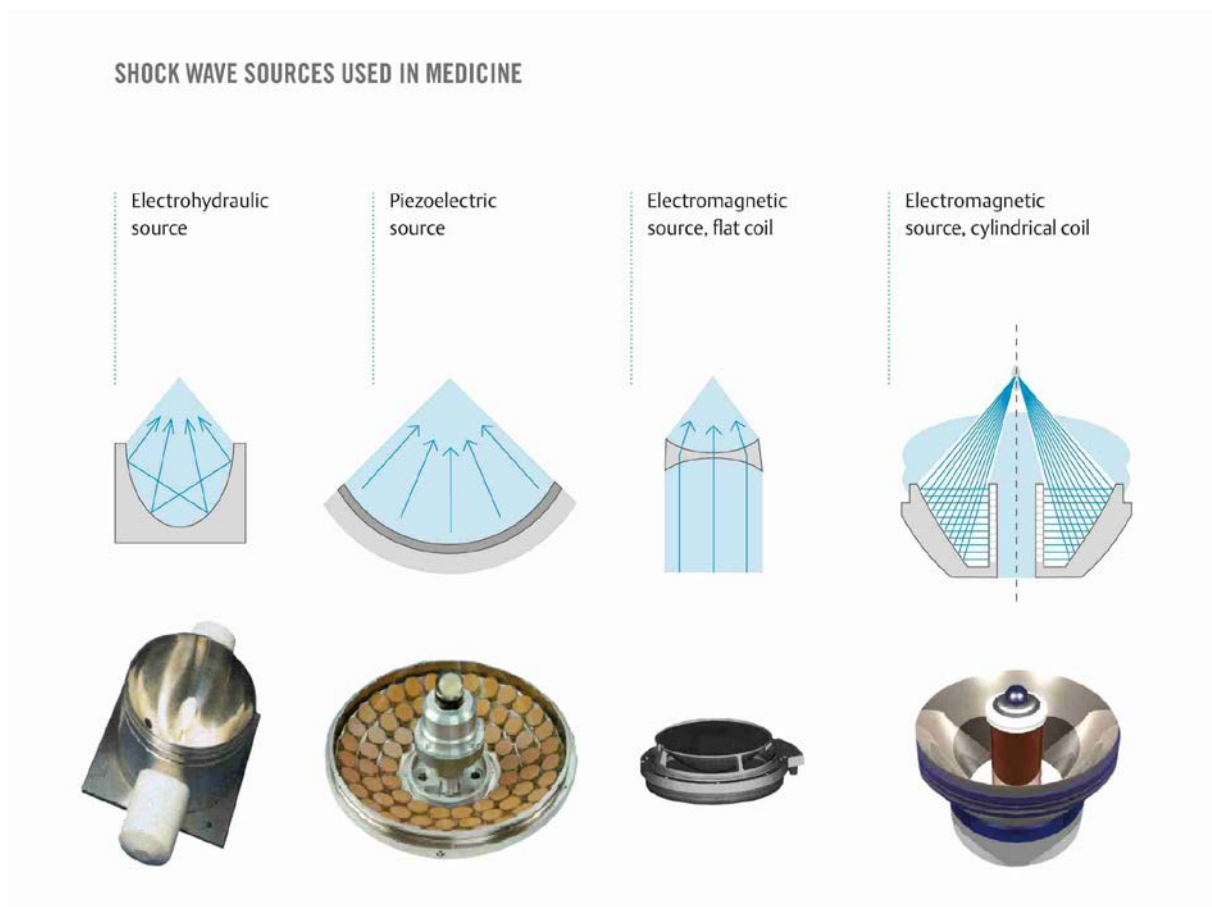
Fokusované rázové vlny lze generovat pomocí elektrohydraulických, piezoelektrických nebo elektromagnetických generátorů rázových vln (obr.). Elektrohydraulické systémy produkují rázové vlny přímo u zdroje generace. Piezoelektrické a elektromagnetické generátory na druhé straně vytvářejí rázové vlny v důsledku zesílení a superpozice vlny, což znamená, že se vlna tvoří pouze v ohnisku. Z lékařského hlediska hraje klíčovou roli skutečnost, že rázové vlny produkované různými typy generátorů mají různě velké ohniskové zóny. Rázové vlny generované piezoelektrickým principem mají nejmenší ohnisko, zatímco rázové vlny vytvářené elektrohydraulickým zdrojem mají největší ohnisko. Z toho vyplývá, že dávka rázové vlny, která může být vyžadována pro konkrétní léčbu, částečně závisí na typu použitého systému rázové vlny.

## Generátory rázové vlny používané v medicíně

- Elektrohydraulické
- Piezoelektrické
- Jejich zdroje
- Elektromagnetický zdroj, plochá cívka
- Elektromagnetický zdroj, válcová cívka

Vzhledem k poměrně velkému výstupu cívky zdroje rázové vlny, vzhledem k velikosti ohniska může být energie rázové vlny zavedena do velké kontaktní oblasti těla, což nezpůsobuje téměř žádnou bolest. Většina rázové vlny se pak uvolňuje pouze v relativně malé ohniskové zóně uvnitř těla (Gleitz & Novak, 2011; Maier et al., 2001).

**Obrázek 3. Zdroje rázové vlny užívané v medicíně**



### 3.3. Šíření rázové vlny (odraz, lom, rozptyl)

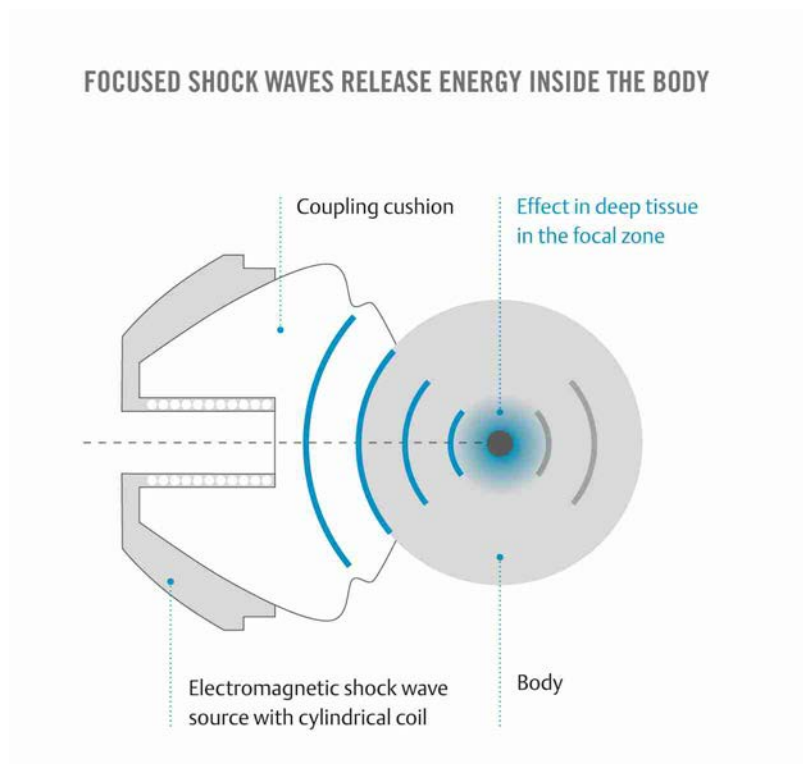
Rázové vlny jsou akustické vlny, které se mohou šířit prostředím téměř beze ztrát za předpokladu, že se výrazně nezmění vlastnosti přenosu zvuku určené akustickou impedancí ( $Z$ ). Akustická impedance je definována takto:

$$Z = \rho \cdot c$$

Kde  $\rho$  = hustota a  $c$  = rychlost zvuku

Akustická rozhraní, na kterých se mění akustické vlastnosti, způsobují uvolňování energie a dávají vznik jevům jako je lom, odraz, rozptyl a difrakce, které jsou běžně známé z oblasti optiky (obr.).

**Obrázek 4. Fokusování rázové vlny uvnitř těla**



Rázové vlny se podobně jako světlo odrážejí na akustických rozhraních. Čím větší je rozdíl mezi akustickými impedancemi dvou médií, tím větší bude tento efekt

To je důvod, proč jsou rázové vlny generovány mimotočně použitím média, obvykle vody, které má v zásadě stejnou akustickou impedanci jako tkáň. Ve spojovací oblasti mezi spojovacím polštářkem a kůží pacienta je veškerý zachycený vzduch, který by mohl narušovat přenos rázové vlny, eliminován pomocí přechodového gelu nebo tenkého vodního filmu.

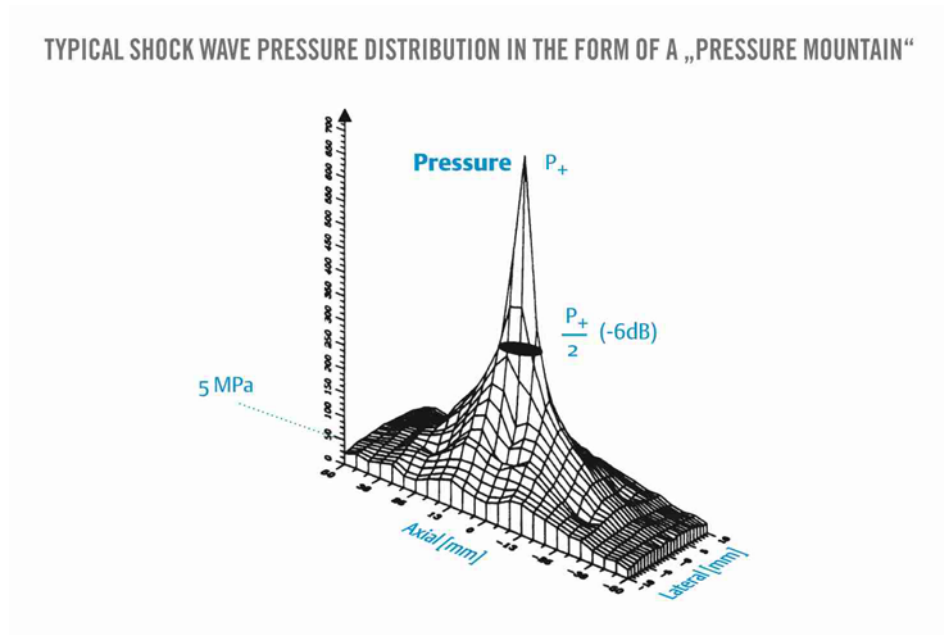
Přítomný vzduch nebo vzduchové bubliny mezi zdrojem rázové vlny a tělem výrazně snižují účinnost rázových vln.

Mimoto je důležité, aby se na dráze šíření rázové vlny nenacházely žádné orgány naplněné plynem (plíce, střeva) nebo velké kostní struktury. Působily by jako překážky přenosu rázových vln do cílové oblasti a brzdily by tak požadovaný terapeutický účinek. Energie uvolněná na rozhraní vzduch/tkáň může způsobit místní krvácení. Energie aplikovaná na kosti způsobuje bolest a sníženou intenzitu rázové vlny v kosti (léčba nehojení) (Kertzman, Császár, Furia, & Schmitz, 2017; Maffulli et al., 2018; Maier et al., 2001).

#### 3.4. Parametry rázové vlny, měření rázové vlny, tlak rázové vlny

Upřednostňovanou metodou k identifikaci charakteristik rázových vln je měření pomocí tlakových senzorů. Rázové vlny používané v lékařství (obr. ) mají typicky p+ špičkové tlaky asi 10 až 100 megapascalů (MPa), což je ekvivalent asi 100 až 1000 násobku atmosférického tlaku. V závislosti na použité metodě generování rázové vlny jsou doby náběhu velmi krátké, přibližně 10 až 100 nanosekund. Doba trvání pulsu  $t_w$  je cca. 0,2 až 0,5  $\mu$ s. Další charakteristikou rázových vln je relativně nízká p složka tahové vlny, která je kolem 10 % p+ špičkového tlaku (Maier et al., 2001; Novak & Medimond, 2009).

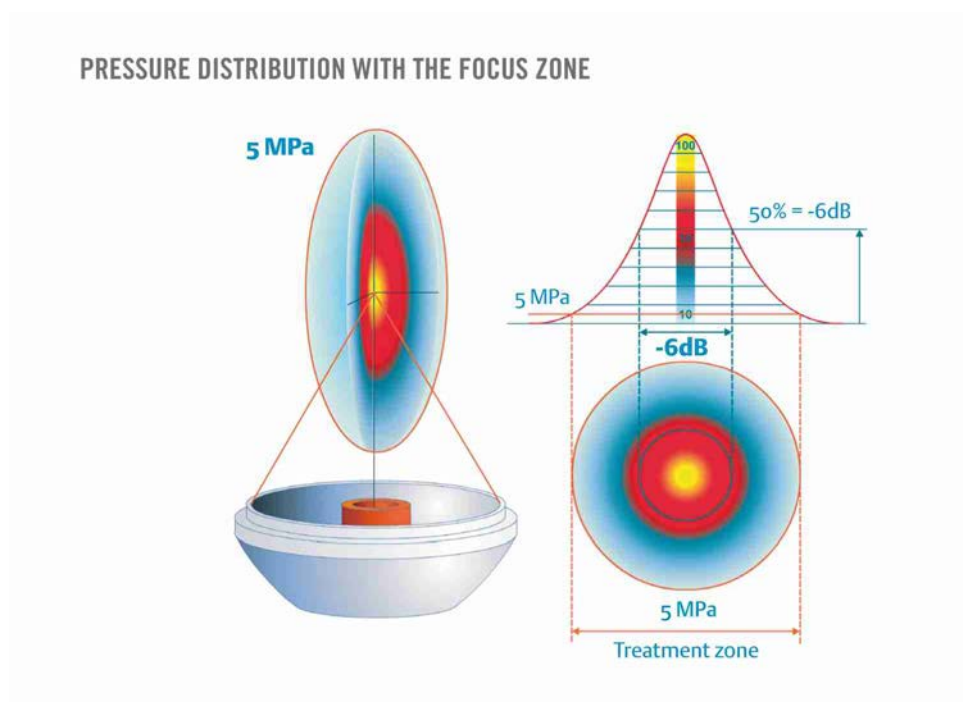
Obrázek 5. Distribuce typické rázové vlny



### 3.5. Zaostření rázové vlny

Ohnisko rázové vlny je definováno jako oblast v rámci modelu rozložení, ve které je tlak roven nebo vyšší než 50 % maximálního tlaku (obr.). Tato oblast je také označována jako -6dB ohnisková zóna nebo je popsána pomocí zkratky FWHM (Full Width at Half Maximum)

**Obrázek 6. Tlaková distribuce ve fokusované zóně**



### 3.6. 5 MPa léčebná zóna

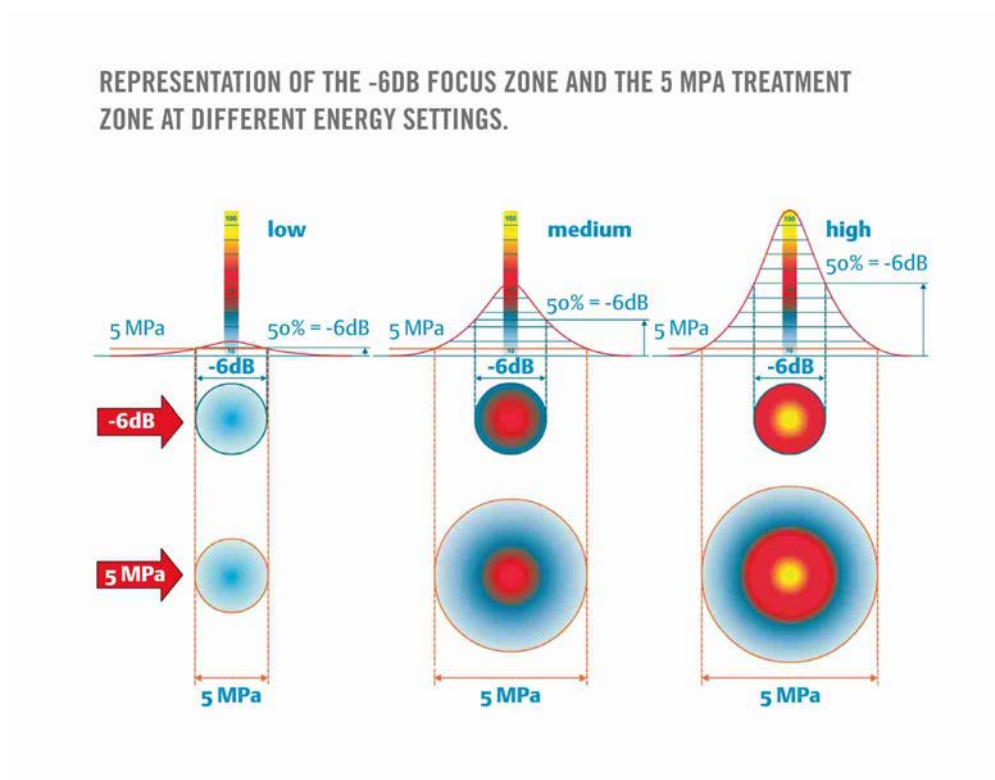
Velikost terapeutické oblasti závisí na zvolené energetické úrovni a je obecně větší než ohnisková zóna. Oblast, ve které rázová vlna rozvine svůj plný biologický účinek, lze definovat pouze při zohlednění zvolené energetické hladiny. Jinými slovy: plocha ošetření rázovou vlnou v těle není totožná s velikostí ohniskové zóny -6dB, ale může být větší nebo menší. Proto byl definován další parametr, který blíže souvisí s terapeutickou účinností rázových vln a který není založen na relativních měřeních (vztah k maximálnímu tlaku ve středu), ale na absolutní veličině, a to 5 MPa tlak (50 bar).

V důsledku toho bylo ohnisko 5 MPa definováno jako prostorová zóna, ve které je tlak rázové vlny vyšší nebo roven 5 MPa. Tato definice je založena na předpokladu, že existuje určitá tlaková hranice, pod kterou rázové vlny nemají žádnou nebo jen minimální terapeutickou účinnost.

Hodnota 5 MPa není podpořena vědeckými důkazy, je empirická. Výše uvedená definice však také odráží změny v terapeutické zóně vyplývající ze změn zvolené energetické hladiny.

Různé terapeutické zóny a jejich změny s různou úrovní energie jsou schematicky znázorněny na obr. Na rozdíl od terapeutických zón zůstává ohnisková zóna -6dB prakticky stejná, i když se změní nastavení energie (Hofmann, Ritz, Rompe, Tresch, & Rommens, 2015; Suhr et al., 2013).

**Obrázek 7. Presentace -6 db fokusované zóny a 5 MPA léčebné zóny při různých úrovních energie**



### 3.7. Energie (E)

Energie rázové vlny je důležitým parametrem v lékařské aplikaci rázové vlny, i když se dnes větší důležitost přikládá hustotě energetického toku. Energie je určena integrací z časové křivky tlakové vlny  $p(t)$ . Je úměrná akustické impedanci ( $Z$ ):

Rozlišuje se, zda integrace tlaku v čase zahrnuje pouze kladné složky tlaku (E+) samotné nebo zda zahrnuje i záporné (tahové) složky (E total). Celková energie je obvykle značena E. Akustická energie pulzu rázové vlny se udává v milijoulech (mJ). Zpravidla se na jedno ošetření vyše několik stovek nebo tisíc pulzů rázové vlny, což znamená, že celková energie se vypočítá vynásobením počtem pulzů.

### 3.8. Hustota energetického toku (ED)

Jak již bylo zmíněno, terapeutická účinnost rázových vln závisí na tom, zda je energie rázové vlny distribuována na velkou plochu nebo je zaměřena na lokálně omezenou léčebnou zónu (fokální zónu). Míra koncentrace energie se získá výpočtem energie na plochu (E/A):

$$ED = E / A = \int p^2(t) dt$$

Hustota energetického toku ED se udává v milijoulech na čtvereční milimetr (mJ/mm<sup>2</sup>). Zde se opět rozlišuje integrace přes samotnou kladnou část tlakové křivky na jedné straně a zahrnutí záporné složky na straně druhé. Pokud je specifikováno bez indexu (ED), tlaková křivka se obvykle považuje za zahrnující zápornou (tahovou) složku (celkovou hustotu energetického toku).

První systémy rázových vln byly vybaveny elektrohydraulickým generátorem rázových vln. Na rozdíl od současnosti se energetické hladiny neuváděly v mJ/mm<sup>2</sup>, ale byly definovány jako hodnoty napětí (kV). Elektrohydraulické systémy jsou stále široce používány (např. Ossatron)(Dreisilker, 2010).

### 3.9. Fyzikální účinky rázové vlny

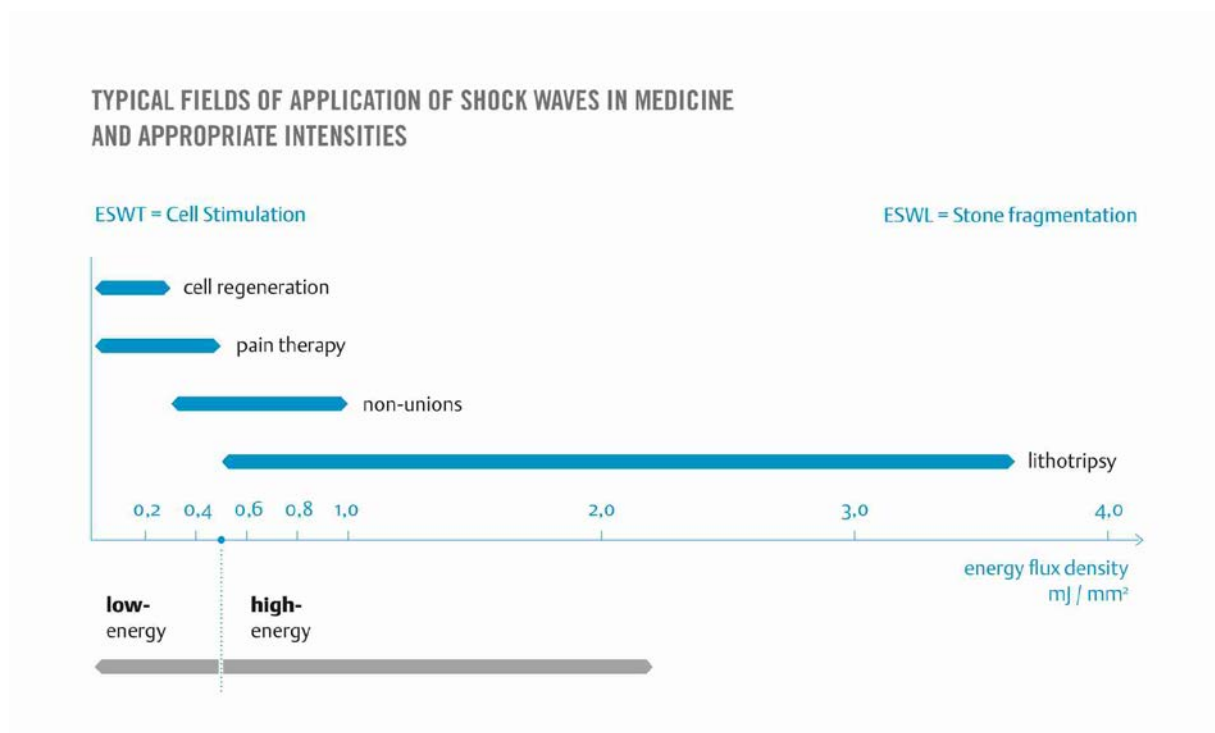
Charakteristiky rázových vln a ultrazvukových vln se liší. Ultrazvuk vyvíjí na tkáň vysokofrekvenční střídavé zatížení ve frekvenčním rozsahu několika megahertzů, což vede k zahřívání, trhání tkáně a kavitaci při vysokých amplitudách.



Účinek šokové vlny je určován mimo jiné dopředně orientovaným dynamickým efektem (ve směru šíření rázové vlny), který způsobuje přenos pulsu na rozhraní, který lze zesílit natolik, že mohou být zničeny i ledvinové kameny. Obecně se tyto dynamické efekty vyskytují pouze na rozhraních se skokem v akustickém odporu (např. kostní trámčiny), ale málokdy v homogenních médiích (tkáň, voda) (Delius et al., 1990; Hofmann et al., 2015).

Přímé účinky ve tkáni - mechanotransdukce > Rázové vlny při průchodu tkání způsobují vysoké tlakové gradienty (cca 160 MPa/mm<sup>2</sup>) a tlakové, tahové a smykové síly, které vedou k podráždění a stimulaci buněk a buněčné matrix v důsledku mechanické deformace cytoskeletu. (obr.)

### Obrázek 8. Typické aplikace rázových vln při odpovídajících úrovních energie



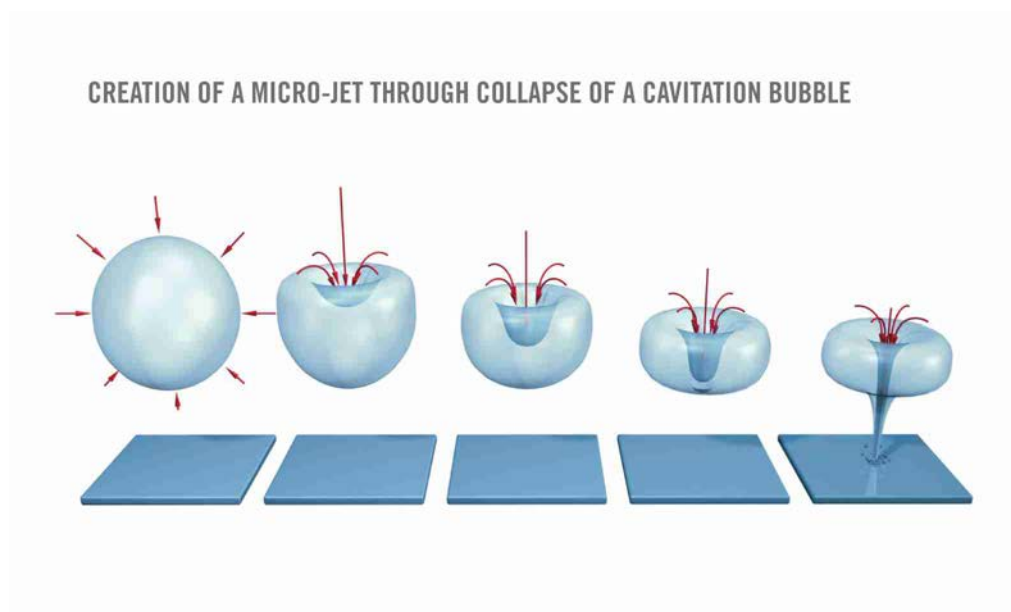
To spouští různé biochemické procesy, které podporují vnitřní mechanismus hojení těla.

Tento jev je zvláště patrný například v ortopedických aplikacích. Zaměření rázových vln

umožňuje omezit požadovaný účinek na cílovou oblast, takže lze snížit nebo dokonce zamezit vedlejším účinkům mimo ošetřovanou zónu (Maier et al., 2001).

Nepřímý účinek – kavitace. Kromě přímého dynamického působení rázových vln na rozhraní dochází ve specifických médiích, jako je voda a do určité míry i tkáň, k jevu označovanému jako kavitace. Mikrotrysky vzniklé kolapsem kavitačních bublin (obr.) obsahují velké množství energie a penetrační síly, takže nejenže rozrušují tvrdá rozhraní kamenů, ale mohou pronikat i stěnami malých cévek. To způsobí mikrokrvácení nebo perforaci membrány. Kavitace se neomezuje pouze na ohniskovou zónu, ale je tam obzvláště výrazná (Ailey et al., 2005).

**Obrázek 9. Micro-jet kolaps kavitační bubliny**



### 3.10. Vznik mikrojetového kolapsu kavitace bublin

Cílená aplikace rázových vln vyžaduje, aby ohnisková zóna systému rázových vln byla nasměrována na ošetřovanou oblast v těle. Při léčbě kamenů (litotripse), kostí a specifických tkáňových struktur lze k tomuto účelu použít rentgenové nebo ultrazvukové systémy. V

terapii bolesti je nezbytná účinná komunikace s pacientem k identifikaci bodu maximální bolesti. Tato metoda biofeedbacku umožňuje lokalizovat mnoho povrchových i hlubokých léčebných bodů (Blackmore et al., 2019; Csaszar et al., 2015; Delius et al., 1990; Wu et al., 2021).

### 3.11. Radiální tlakové vlny a jejich užití

V 90. letech 20. století jsou balisticky generované radiální tlakové vlny levnější alternativou k rázovým vlnám, zejména při léčbě muskuloskeletálních poruch. Z marketingových důvodů byly radiální tlakové vlny označovány jako radiální rázové vlny od té doby, co se dostaly do medicíny, a některé indikace a výsledky terapie jsou skutečně velmi podobné. To je důvod, proč se – kromě zkratky ESWT – zavedl termín “terapie radiální rázovou vlnou” (RSWT). Z fyzikálního hlediska je nesprávné mluvit o rázových vlnách, když máme na mysli radiální tlakové vlny. Délka pulzu radiálních tlakových vln je mnohem delší než u rázových vln. Tlakové vlny mají vlnové délky mezi 0,15 a 1,5 m ve srovnání s přibližně 1,5 mm soustředěnými rázovými vlnami. To vysvětluje, proč lze rázové vlny na rozdíl od tlakových vln zaostřit (Ibrahim et al., 2017; Kertzman et al., 2017; Rompe, Furia, Cacchio, Schmitz, & Maffulli, 2015).

V anglicky mluvících zemích je terapie radiálními tlakovými vlnami stále častěji označována jako “extracorporeal pulse integration therapy” (EPAT), aby byl rozdíl mezi radiálními tlakovými vlnami a rázovými vlnami a jejich různé účinky zřetelnější (Ibrahim et al., 2017).

### 3.12. Generování radiálních tlakových vln

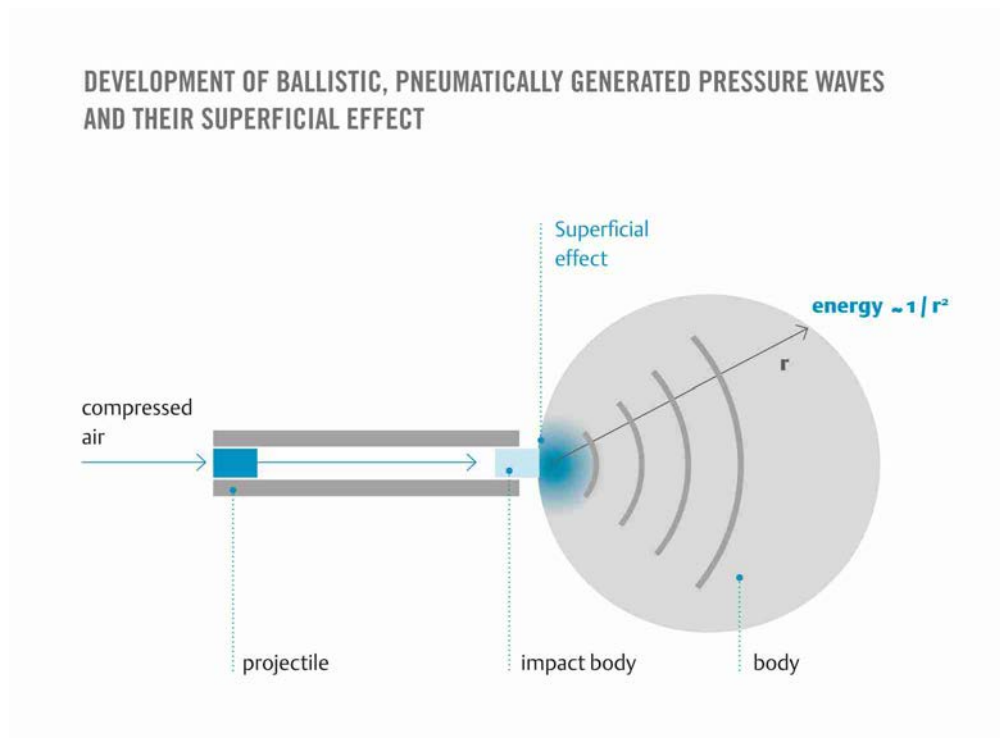
Srážkou pevných těles vznikají tlakové vlny. Nejprve se urychlí náboj, třeba stlačeným vzduchem (podobně jako vzduchová pistole), na rychlost několik metrů za sekundu (cca 5 až

25 m/s, hluboko pod rychlostí zvuku ve vodě cca 1500 m/s) a pak se prudce zpomalí nárazem do nárazového tělesa (vysílače). Elasticky zavěšené nárazové těleso se uvede do přímého kontaktu s pokožkou pacienta nad ošetřovanou oblastí, nejlépe pomocí ultrazvukového mediátorového spojovacího gelu nebo masážního oleje. Když střela narazí na nárazové těleso, část jeho kinetické energie se přenese na nárazové těleso, které poté provede posuvný pohyb na krátkou vzdálenost (obvykle  $< 1$  mm) při nízké rychlosti (obvykle  $< 1$  m/s), dokud přilehlá tkáň nebo násadec zpomaluje pohyb těla. Pohyb nárazového tělesa se přenáší do tkáně v místě kontaktu, odkud se šíří divergentně ve formě “radiální” tlakové vlny (Kertzman et al., 2017; Rassweiler et al., 2011).

### 3.13. Vznik pneumatically generovaných balistických tlakových vln a jejich povrchové účinky

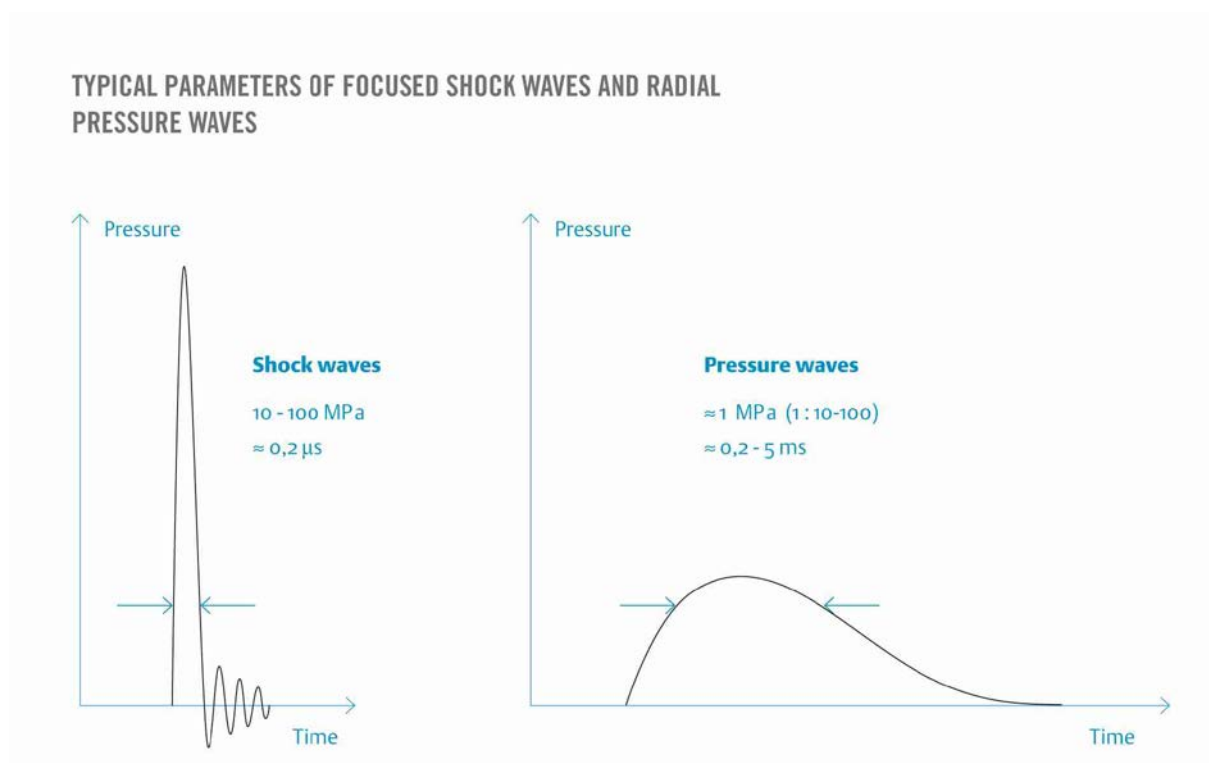
Doba trvání tlakového pulsu (obr.) je určena translačním pohybem nárazového tělesa a je typicky asi 0,2 až 5 milisekund (ms) v tkáni. To znamená, že tlakové pulsy aplikované na tkáň jsou 1000krát delší než rázové vlny. Typické špičkové tlaky radiálních tlakových vln jsou asi 0,1 až 1 MPa, tj. ve srovnání s rázovými vlnami o faktor 100 nižší.

**Obrázek 10. Vytvoření pneumaticky generovaných tlakových vln a jejich superficiální efekt**



Srážka střely s nárazovým tělesem rovněž generuje vysokofrekvenční akustické vlny (zvuk šířící se pevnou látkou) v nárazovém tělese. Vzhledem k velkému rozdílu mezi dvěma akustickými impedancemi (kov, voda) je do tkáně nebo vody přenášena pouze malá část (asi 10 %) této oscilační energie. Energie obsažená ve vysokofrekvenčním akustickém kmitání je o několik řádů menší než energie nízkofrekvenčního tlakového pulzu (obr.) (Csaszar et al., 2015).

**Obrázek 11. Typické parametry fokusovaných šokových a radiálních tlakových vln**



### 3.14. Šíření tlakových vln

Tlakové vlny vycházejí z místa aplikace nárazového tělesa a postupují radiálně do sousední tkáně. Indukovaná tlaková vlna rychle klesá s rostoucí vzdáleností od bodu aplikace, nárazového tělesa, tedy na povrchu kůže (obr.).

### 3.15. Rozdíly v intenzitě fokusovaných rázových vln a radiálních tlakových vln v lidském těle.

Vzhledem k výrazně delšímu trvání pulsu a nižší tlakové amplitudě tlakových vln ve srovnání s rázovými vlnami neposkytuje měření tlaku (MPa) a výpočet hustoty energetického toku ( $\text{mJ}/\text{mm}^2$ ) vhodné metody k identifikaci charakteristiky tlakových vln. Přesnější informace lze získat měřením výchylky nárazového tělesa (obr.) a síly přenášené na fantom viskoelastické tkáně. Protože však tyto parametry jsou rozhodujícím způsobem určeny typem použitého nárazového tělesa (vysílače), běžně uváděným parametrem intenzity je tlak (bar), který pohání

a urychluje náboj (C. Chaussy et al., 2017; Ibrahim et al., 2017; Schmidt, Delhasse, Steingen, & Bloch, 2007; Simon et al., 2013).

### 3.16. Léčebné účinky tlakových vln

Radiální tlakové vlny vytvářejí oscilace ve tkáni, které vedou ke zlepšení mikrocirkulace a zvýšení metabolické aktivity. Navzdory mnoha úspěšným výsledkům léčby nebyl dosud proveden žádný vědecký výzkum, který by zkoumal přesné biologické účinky radiálních tlakových vln, naproti tomu jsou fokusované rázové vlny předmětem mnoha seriózních studií. Důvod je evidentní. Je velmi obtížné přesně definovat velikost působící energie.

### 3.17. Klinické porovnání rázových a tlakových vln

Jak bylo diskutováno v předchozích částech, rázové vlny a tlakové vlny se liší nejen svými fyzikálními vlastnostmi a způsobem vzniku, ale také velikostí použitých standardních parametrů a dosahovanými terapeutickými hloubkami průniku tkání. Hlavní rozdíly jsou shrnuty na (obr.). Je zajímavé, že navzdory fyzickým rozdílům a z toho vyplývajícím různým oblastem použití (povrchové nebo hluboké cílové oblasti) se zdá, že stimulační účinky a terapeutické mechanismy vykazují určité podobnosti. Radiální tlakové vlny jsou ideální například pro léčbu povrchových bolestí. V terapii syndromů myofasciální bolesti poskytují radiální tlakové vlny dokonce nepostradatelnou techniku vyhlazování svalů, která se používá před nebo po aplikaci soustředěné rázové vlny. Lokální bolestivá místa, chronická inzerční tendinitida a hluboké spouštěvé body by naopak měly být spíše léčeny soustředěnými rázovými vlnami. Planární/rozostřené rázové vlny se přednostně používají k léčbě svalových spouštěcích bodů a dermatologických/estetických indikací (obr.) (Maffulli et al., 2018; Pfaff, Boelck, Bloch, & Nentwig, 2016; Ramon, Gleitz, Hernandez, & Romero, 2015).

Léčba svalů pomocí fokusovaných rázových vln (f-ESWT) byla první indikační specifitou. Jednotlivé publikace k této metodě se objevily koncem 90. let. Tato metoda byla jako alternativa k ručnímu ošetření spouštěcích bodů, která podle M. Lange v podstatě spočívala v aplikaci mechanické energie (vnějšího tlaku) na sval, „gelotripse“. Cílem obou technik bylo zmírnit bolest a snížit svalový tonus a svalové zkrácení.

Důsledné používání rázových vln v ortopedii pro léčbu myofasciálních syndromů začalo na začátku roku 2000. Zpočátku se pro tyto aplikace používaly radiální rázové vlny, ale krátce poté následovaly fokusované rázové vlny (f-ESWT). Od té doby se léčba svalů rázovými vlnami stala široce používanou léčebnou modalitou (Deliuss et al., 1990; Holfeld et al., 2012; Holfeld, Zimpfer, et al., 2016).

Systémy rázových vln používané při léčbě svalů jsou stejné jako ty, které byly původně vyvinuty pro tradiční indikace terapie rázovými vlnami. Na základě výsledků vědeckých studií tkáňové kompatibility rázových vln by měla být doporučená hladina energie pro aplikaci rázové vlny nižší než  $0,5 \text{ mJ/mm}^2$ . Všechny ostatní parametry ošetření a aplikační techniky byly zatím stanoveny empiricky.

Postup terapie se liší podle individuálních požadavků a závisí na zkušenostech terapeuta s léčbou syndromů myofasciální bolesti. Může sahat od jednoduché lokální léčby až po komplexní terapii svalových řetězců.

S cílem maximalizovat bezpečnost léčby a standardizovat terapii rázovou vlnou. DIGEST e. V. (Německy mluvící mezinárodní společnost pro mimotělní terapii rázovými vlnami, [www.digest-ev.de](http://www.digest-ev.de)) stanovila směrnice pro léčbu různých typů tkání, včetně svalů. Tyto směrnice byly také přijaty ISMST (Mezinárodní společnost pro léčbu rázovou vlnou v lékařství, [www.ismst.com](http://www.ismst.com)).



Použití systémů rázových vln v medicíně v Anglii se řídí Nařízeními o lékařských zařízeních 2002/159 a Směrnicí Evropské rady 93/42/EEC o zdravotnických prostředcích 11. Ve všech případech musí být vždy nejvyšší prioritou kladena na bezpečnost pacienta.

### 3.18. Mechanismy působení

Mechanismy účinku při léčbě svalů jsou hypotetické. Přesný mechanismus působení rázových vln při léčbě svalů není dosud znám. Pro vysvětlení nesporného klinického úspěchu této terapie jsou vědecky ověřené účinky rázových vln na nesvalovou tkáň brány jako základ a jsou spojeny s patofyziologickými mechanismy bolestivých míst ve svalech.

Znalost účinků rázových vln ve tkáni pochází především ze f-ESWT.

Je třeba zmínit, že většina informací dostupných v tomto kontextu byla získána výzkumem zaměřeným na rázové vlny, zatímco mnohem méně výzkumů bylo provedeno v oblasti způsobu působení radiálních vln ve tkáni.

Na základě dosud shromážděných znalostí a informací lze diskutovat o následujících mechanismech působení rázových vln při léčbě svalů:

- prostorový dopad na sarkomery spolu s oddělením pevných aktin-myosinových vazeb přísunem mechanické energie kolmo ke směru svalových vláken
- zlepšení krevního oběhu prostřednictvím reaktivní hyperémie a angiogeneze
- ředění vazoneuroaktivních látek v důsledku reaktivní hyperémie a modulační bolesti uvolňováním substance P a CGRP
- modulační bolesti prostřednictvím uvolňování a syntézy oxidu dusnatého
- selektivní degenerace C-vláken, modulační bolesti podle gate control theory inhibovanou aktivitou pomalých aferentních C-vláken ze svalu prostřednictvím rychlých přijímacích aferencí z kožních A-delta vláken
- svalová oscilace
- distribuce a odstranění poškozených svalových vláken

Klinicky se ukázalo, že terapie svalů rázovou vlnou má dva různé časy nástupu účinku, které jsou určeny různým mechanismem účinku. Počáteční nástup účinku je téměř okamžitý, po několika dnech nebo týdnech následuje opožděný nástup účinku (Furia, Rompe, Cacchio, Del Buono, & Maffulli, 2013).

Rázové vlny nabízejí lepší diagnostickou přesnost a vyšší terapeutickou účinnost než klasická léčba. Penetrace rázové vlny je možná hluboko do tkáně, aniž by byla invazivní nebo potenciálně infekční, jako je tomu u injekcí nebo suchého jehlování. To je důvod, proč lze terapii rázovou vlnou provádět opakovaně na velkých ošetřovaných plochách. Většina pacientů je dobře snáší. Dlouhodobé účinky rázových vln jsou lepší než u klasických svalových ošetření díky regeneračním procesům, které navozují (angiogeneze a mechanotransdukce) (C. G. Chaussy & Tiselius, 2018; Kertzman et al., 2017).

### 3.19. Indikace a kontraindikace

Indikace: bolest svalů a dysfunkce

Indikace terapie svalovou rázovou vlnou zahrnují chronické a akutní svalové bolesti a funkční poruchy (zvýšený svalový tonus, svalová indurace, zkrácení, křeče, podvrtnutí).

Kontraindikace:

Terapie rázovou vlnou je kontraindikována, pokud se nádorová tkáň, plicní tkáň nebo epifyzální disky nacházejí v ohnisku rázové vlny nebo pokud by dlouhodobá léčba zahrnovala aplikaci rázové vlny na zranitelné struktury (nervy, mícha, cévy, oči).

Relativní kontraindikací jsou těžké koagulopatie. Individuální rozhodnutí pro nebo proti terapii rázovou vlnou musí být učiněno v každém konkrétním případě v závislosti na

výsledcích koagulačních testů. Zkušenosti ukázaly, že terapie rázovou vlnou je vhodná pro pacienty jakéhokoli věku, mimo děti do sedmi let věku, které by neměly být léčeny, protože by terapii neporozuměly a byly příliš vyděšené naší žádostí o spolupráci.

### 3.20. Diagnóza před terapií rázovou vlnou

#### 3.20.1. Manuální vyšetření a funkční test jako první diagnostický krok

Prvním diagnostickým krokem je manuální vyšetření svalů, které vykazují bolestivé a funkčně limitující příznaky. To se provádí palpací a funkčním testem. Postup je popsán pro lokalizaci spouštěcích bodů.

#### 3.20.2. Ultrazvuk

Ultrazvukové vyšetření je vhodné pro maximální bezpečnost a přesnost ošetření.

Ultrazvukové vyšetření se provádí s dvojím cílem: za prvé, identifikovat strukturální změny, které nesmí být léčeny, protože jsou klasifikovány jako kontraindikace. Mezi takové změny patří například nádory, které se mohou projevit jako svalové uzliny. Za druhé, umožnit lokální diagnostiku anatomických jevů, které je obtížné vyhodnotit bez zobrazení.

Zobrazení cév a plicní tkáně. Rázové vlny používané k léčbě bolesti svalů v oblasti krční a dorzální páteře je třeba aplikovat v blízkosti plic. Znalost přesné polohy plic v hloubce těla je nezbytná, aby se zabránilo rázové vlně zaměřené na plicní tkáň.

Vyšetření místní anatomie k identifikaci zranitelných struktur a tloušťky svalové vrstvy

Identifikace svalových vrstev a tloušťky podkožní tkáně Informace o tloušťce svalové vrstvy jsou zásadní pro výběr správného léčebného zaměření fokusovaných rázových vln.

Ačkoli je u radiálních rázových vln méně pravděpodobné, že způsobí zranění nebo zranitelné struktury kvůli jejich odlišnému šíření zvuku a oficiálnímu pronikání, znalost vaskulárních drah a tloušťky svalové vrstvy usnadňuje výběr adekvátní energetické hladiny. Kromě toho informace o tloušťce podkožní tkáně a tloušťce svalové vrstvy také pomohou určit, zda

hloubka průniku radiálních rázových vln je dostatečná k dosažení cílové oblasti (C. G. Chaussy & Tiselius, 2018).

### 3.20.3. Diagnostické zobrazení

Diagnostické zobrazovací techniky zahrnují rentgenové paprsky, MRI, CT a kostní skeny. Zobrazení je nezbytné pro potvrzení nepřítomnosti jakéhokoli typu osteopatie nebo jiného onemocnění, které může být zodpovědné za bolest svalů. Za tímto účelem se provádí postupná diagnostika, počínaje jednoduchou, lokální metodou a konče složitějšími vyšetřeními pokrývajícími větší oblasti těla. Indikace léčby bude záviset na výsledcích diferenciální diagnostiky. V prvním kroku by mělo být provedeno RTG.

Důležitost elastografie pro měření a barevné zobrazování tuhosti tkání bude, jak věříme, stanovena v průběhu příštích let (Schmidt et al., 2007).

### 3.20.4. Krevní analýza

Při léčení syndromů chronické bolesti nebo když se u pacientů během léčby nedochází k žádnému zlepšení, je pro diferenciální diagnostiku nezbytný krevní rozbor. Základní krevní rozbor by měl zahrnovat: diferenciální krevní obraz, sedimentaci, CRP, elektrolyty, transaminázu, alkalickou fosfatázu, kyselinu močovou a kreatinín.

### 3.20.5. Diferenciální diagnostika myofasciální bolesti

Myofasciální bolest je jednou z poruch, které spadají pod zastřešující termín „myalgie“. Tento termín pouze popisuje symptomy lokální nociceptivní bolesti bez vysvětlení jejich příčiny nebo umístění (Gleitz & Hornig, 2012; Ibrahim et al., 2017).

Vzhledem k tomu, že prakticky všechna organická a psychická onemocnění dříve či později způsobují bolest svalů, je třeba kriticky vyšetřit symptomy vznikající ve svalech, protože mohou být přisuzovány různým poruchám.

### 3.21. Fokusované, rovinné nebo radiální rázové vlny?

Různé typy rázových vln mají různé fyzikální vlastnosti a různé klinické účinky (obr.).

**Obrázek 12. Přehled fundamentálních rozdílů mezi šokovými a tlakovými vlnami**

OVERVIEW OF THE FUNDAMENTAL DIFFERENCES BETWEEN SHOCK WAVES AND PRESSURE WAVES

SHOCK WAVE		PRESSURE WAVE
100 - 1000 bar	pressure	1 - 10 bar
$\approx 0,2 \mu\text{s}$	pulse duration	0,2 - 0,5 ms
focused	pressure field	radial, divergent
large	penetration depth	small, superficial
cells	effect	tissue

Fokusované nebo rovinné rázové vlny na jedné straně a radiální rázové vlny na straně druhé mají různé fyzikální vlastnosti. Fokusované a rovinné rázové vlny jsou generovány pomocí generátorů elektromagnetických, elektrohydraulických nebo piezoelektrických rázových vln. Radiální rázové vlny jsou na druhé straně ekvivalentní balistickým (pneumatickým) tlakovým vlnám. Fokusované, planární a radiální rázové vlny mají různé klinické účinky, a proto se používají pro různé účely při léčbě svalů. V zásadě mohou být spouštěcí body ošetřeny všemi typy rázových vln (Schaden et al., 2007; Siems, Grune, Voss, & Brenke, 2005).

#### 3.21.1. Fokusované rázové vlny

Výhoda: snadné vyvolání uvedené bolesti

Fokusované rázové vlny se používají k diagnostickým a terapeutickým aplikacím: k lokalizaci spouštěcích bodů na jedné straně, protože rázové vlny (podle autorů prožívají lépe než

manuální vyšetření) jsou schopny vyvolat referovanou bolest, která je pro spoušťové body charakteristická, a na druhé straně pro lokální ošetření jednotlivých spouštěcích bodů.

Výhodou fokusovaných rázových vln je přesná aplikace a hluboký průnik do tkáně až do hloubky přes 10 cm.

Nevýhoda: malá ošetřovací plocha

Jejich nevýhodou je, že je lze aplikovat pouze na omezenou léčebnou zónu, což znamená, že syndromy svalové bolesti přesahují větší plochy

vyžadují poměrně dlouhou léčbu.

Diagnostická spolehlivost fokusovaných rázových vln je mnohem lepší než jejich terapeutická účinnost. To je způsobeno skutečností, že soustředěné rázové vlny jsou schopny vyvolat lokální a referovanou bolest díky vysoké energii aplikované na konkrétní místa tkáně.

Identifikace svalových bodů však není zárukou, že mohou být trvale odstraněny. Lze dosáhnout dlouhodobé remise nebo také ne, závisí na intenzitě základní kauzální patologie, jejíž dopad je obtížné určit (Furia, 2006; Furia, Rompe, Maffulli, Cacchio, & Schmitz, 2017; C. Chaussy et al., 2017).

### 3.21.2. Planární, rovinné rázové vlny

Planární rázové vlny jsou „rozstřené“ soustředěné rázové vlny. Jsou ideální pro velké svalové plochy a objemy.

Planární rázové vlny jsou nejnovějším vývojem ve svalové terapii. Jsou určeny pro stejné aplikace jako fokusované rázové vlny, ale na rozdíl od posledně jmenovaných nemají ohniskovou zónu. V důsledku energie aplikované na objem tkáně je indukovaná bolest méně silná a méně přesná. Na druhou stranu rovinné rázové vlny mají

různé výhody. Mohou být použity k léčbě větších svalových objemů a mají nižší hloubku průniku než u soustředěných rázových vln, ale stále vyšší než hloubky dosahované radiálními vlnami. Příštích několik let ukáže, zda se tyto výhody planárních rázových vln oproti fokusovaným stanou klinicky důležitými a zda planární vlny dokonce nahradí fokusované rázové vlny ve svalové terapii. Ve většině rozdělení nejsou planární rázové vlny rozebírány samostatně. Místo toho termín “FOKUSOVANÉ rázové vlny” zahrnuje jak fokusované, tak planární rázové vlny.

### 3.21.3. Radiální rázové vlny

Radiální rázové vlny se používají jak pro lokální ošetření spouštěcích bodů, tak pro velkoplošné vyhlazování a ošetření svalů. Radiální rázové vlny nabízejí tu výhodu, že umožňují ošetření velkých svalových partií.

Dosahují však pouze malých hloubek průniku 2 až 4 cm. Hluboké spouštěcí body v hýžd'ových a stehenních svalech lze dosáhnout pouze nepřímo. Kromě toho jsou radiální rázové vlny méně schopné vyvolat referovanou bolest ve srovnání s fokusovanými rázovými vlnami, což znamená, že nejsou ideální pro lokální diagnostiku spouštěcích bodů (Hofmann et al., 2015; Holfeld, Zimpfer, et al., 2016).

### 3.21.4. Kombinované využití fokusovaných a radiálních rázových vln

Na základě zkušeností se kombinované použití fokusovaných a radiálních rázových vln během stejného terapeutického sezení ukázalo jako vysoce efektivní. Tímto způsobem je možné využít výhod nabízených oběma technikami ke zlepšení léčby. Výsledek. Léčebné sezení je zahájeno pomocí zaostřených rázových vln pro diagnostiku a lokální léčbu svalových spouštěcích bodů. Poté následuje aplikace radiální rázové vlny pro velkoplošné uvolnění svalů (vyhlazením nebo nárazem) ve směru svalových vláken.

Pokud zvolená hladina energie nezpůsobuje žádnou uvedenou bolest, lze ji zvyšovat v krocích 0,01 až 0,02 mJ/mm<sup>2</sup> nebo 0,2 bar. Maximální zvýšení by však mělo být omezeno na 0,1 mJ/mm<sup>2</sup> nebo 1,0 bar. Pokud toto zvýšení aplikační energie stále nezpůsobuje uvedenou bolest, měla by být diagnóza opakována v jiné oblasti pomocí stejné metody.

Specifická technika používaná v lokální diagnostice rázových vln je odlišná pro fokusované a radiální rázové vlny kvůli jejich odlišným fyzikálním vlastnostem (Russe-Wilflingseder et al., 2013; Siems et al., 2005; Suhr et al., 2013; Tschöep et al., 2001).

### 3.21.5. Diagnostika s využitím fokusované rázové vlny

Fokusované rázové vlny poskytují nejspolehlivější diagnostiku indukovatelných jevů. Svalové oblasti, u kterých existuje podezření na takové jevy, jsou “skenovány” pomocí pomalých pohybů sondy rázové vlny. To se provádí bez vyvíjení jakéhokoli tlaku, je třeba zajistit dostatečné množství spojovacího gelu. Zvolená hloubka ohniska se liší podle tloušťky svalové vrstvy zjištěné při ultrazvukovém vyšetření. Hloubku zaostření lze změnit pomocí proměnných externích spojovacích zařízení nebo změnou geometrie generátoru rázových vln v systému (Rassweiler et al., 2011; Schaden et al., 2007).

Jinými slovy, diagnostika a terapie probíhají během stejného sezení se stejným přesným nastavením systému. Frekvence soustředěných rázových vln by pro diagnostické účely měla být mezi 2 a 4 Hz. Úroveň energie by měla být 0,1 mJ/mm<sup>2</sup> nebo vyšší. Velikost ohniska se liší v závislosti na typu generátoru použitého v systému fokusovaných rázových vln. (elektromagnetické, elektrohydraulické, piezoelektrické). To má různé diagnostické výhody a nevýhody.

Výhodou malého ohniska (piezoelektrický princip) je to, že referovanou bolest lze vyvolat s maximální přesností. To je způsobeno vysokou místní energetickou úrovní, které lze dosáhnout. Negativními aspekty použití malého ohniska jsou silná bolest při léčbě, možné



poranění nechtěně zasažených citlivých tkání a obtížná lokalizace jednotlivých spouštěcích bodů ve velkých svalových objemech. Rázové vlny s větším ohniskem (elektrohydraulické a elektromagnetické principy) spíše zasáhnou cílové spouštěčové body, což je rozhodující přínos při léčbě velkých svalů. Lokální a referenční bolest je indukována méně přesně a je méně silná než u piezoelektrických generátorů.

#### 3.21.6. Diagnostika s využitím radiální rázové vlny

Diagnostika s radiálními rázovými vlnami funguje na stejném principu fokusované rázové vlny, ale jsou méně vhodné k vyvolání uvedené reakce. To je způsobeno množstvím použité energie a postupným šířením zvukových vln.

Nastavení hloubky zaostření není možné pro radiální rázové vlny. Maximální množství energie se uvolňuje na povrchu kůže. Jak se pak vlny šíří divergentně v hloubce podkoží a svalové tkáně, postupně ztrácejí energii. Hlubší svalové oblasti lze dosáhnout pouze zvýšením energie rázové vlny. To je však možné pouze omezeně kvůli výslednému podráždění pokožky

### 3.22. Plánování terapie a výběr léčených svalů

Výběr ošetřovaných svalů se provádí na základě anamnézy a klinického vyšetření pacienta.

Svaly, které mají být ošetřeny, se vybírají na základě následujících kritérií:

Informace o bolesti poskytnuté pacienty a zvážení charakteristických vzorců přenosu bolesti ve svalových spouštěcích bodech, i diagnostika napjatých pruhů a svalových uzlů palpací,

Spouštění referované bolesti a rozpoznání spontánní bolesti a bolesti při zátěži palpací nebo použitím fokusovaných nebo radiálních rázových vln.

Test rozsahu pohybu k identifikaci svalů, které se podílejí na omezení pohyblivosti.

Pro interpretaci anamnézy pacienta je nezbytná hluboká znalost možných vzorců bolesti

Zásadní význam má anamnéza pacienta a popis bolesti s ohledem na lokalizaci a doporučení.

Tyto informace a znalosti o vzorcích bolesti specifických pro svaly pomáhají identifikovat svaly zapojené do procesu bolesti. Popisy bolesti poskytnuté pacienty se mohou z neurologických aspektů zdát zbytečné, ale obecně poskytují cenné informace z pohledu spouštěcího bodu.

Použití fokusovaných rázových vln odhalilo nové referenční vzorce bolesti, které nebylo možné detekovat pouze ručním vyšetřením.

### 3.23. Hodnocení podráždění svalů

Kromě lokální diagnostiky svalů k identifikaci spouštěcích bodů je důležité obecně vyhodnotit podráždění svalů, aby bylo možné posoudit léčitelnost poruchy a trvání léčby.

Lze říci, že doba léčby je delší, pokud je třeba léčit citlivé svaly. To je způsobeno tím, že svalová citlivost na vnější stimuly jsou výsledkem senzibilizace jeho nociceptorů. Závažnost a perzistence onemocnění se zvyšuje s počtem nociceptorů a stupněm nociceptorové senzibilizace.

Čím citlivější je sval, tím nižší je hladina energie rázové vlny a tím delší je doba trvání léčby.

Svalová citlivost je snadno identifikovatelná s fokusovanými a radiálními rázovými vlnami, protože vysoce koreluje s bolestí vnímanou během aplikace rázové vlny. Je-li silná lokální bolest, která může postihnout i celý sval, způsobena nízkou úrovní energie rázové vlny (např. 0,05 až 0,1 mJ/mm<sup>2</sup> pro fokusované rázové vlny nebo 1,2 až 1,6 baru pro radiální vlny), je to jasná indikace, že léčba bude trvat déle, zatímco svaly s malou bolestí a malým počtem spouštěcích bodů lze léčit během kratších terapeutických období (Dreisilker, 2010; Gleitz & Novak, 2011; C. Chaussy et al., 2017; Novak & Medimond, 2009).

## 4. Metodologie

### 4.1. Vědecká otázka

Základní vědecká otázka je, jestli lze neinvazivním způsobem ovlivnit chronickou či akutní inaparentní bolestivost svalů pánevního dna ve smyslu její eliminace či jejího významného snížení. Jestli k tomuto účelu lze využít moderní fyzikální techniku fokusované rázové vlny, Extracorporeal Shock Wave Therapy (ESWT).

### 4.2. Hypotézy

Hypotéza **H1** je, že lze pomocí ESWT neinvazivně statisticky významně snížit rozvoj chronické bolesti svalů pánevního dna inaparentního původu. Úroveň statistické významnosti určíme na hladině  $p < 0,05$

Hypotéza **H2** je, že lze za užití ESWT neinvazivně statisticky významně snížit propagaci akutní inaparentní bolesti svalů pánevního dna. Úroveň statistické významnosti určíme na hladině  $p < 0,05$

### 4.3. Cíl práce

Cílem naší práce je zjištění možnosti ovlivnění a eliminace chronické a akutní bolesti pánevního dna pomocí neinvazivní fyzikální techniky. Naším cílem je zjistit, jestli k tomu účelu lze použít extrakorporální rázovou vlnu a která její forma je nejvhodnější. Chceme cílit na chronickou pánevní bolest, vulvodynii a akutní formu bolesti, dyspareunii neorganického původu.

Z rázových vln chceme vybrat mezi radiální či fokusovanou extrakorporální vlnou. Chceme ověřit možnost vhodného nastavení použité energie a tímto reprodukovatelnost a využití techniky. Chceme tak ověřit hypotézy H1 a H2.

#### 4.4. Úkoly

Prostudovat vhodnou literaturu

Zhodnotit předchozí studie zahraniční a vlastní týkající se této problematiky

Vybrat vhodný typ rázové vlny, kde se primárně soustředíme na fokusovanou ESWT

Vybrat vhodnou metodologii formou randomizovaného slepého pokusu pro studii

Zvolit dostatečnou velikost souboru studie

Zajistit adepty vlastní studie

Zajistit souhlas etické komise a informovaný souhlas klientek

Záznam dat získaných při studii

Jeich statistické zpracování vhodnou metodou

Zhodnocení výsledů na základě statistické významnosti

Zajistit výstup ve smyslu doporučení pro praxi

#### 4.5. Metodika

##### 4.5.1. Metodika studie 1.

Studie vulvodynie se zúčastnilo 62 žen ve věku 24-57 let s objektivní vulvodynií definovanou jako vulvální bolest trvající minimálně 3 měsíce během posledních 6 měsíců.

#### **Kritéria pro zařazení**

Kritéria pro zařazení byla založena na splnění všech kritérií vulvodynie:

syndrom vulvální vestibulitidy, na vestibulum omezené pálení/bolest vyvolaná dotykem nebo

esenciální (dysestetická) vulvodynie pálení/bolest nejen omezená na vestibulum a

pozitivní výsledek taktilního testu vatovým tamponem, cotton swab test, (CST, skóre >0);

skóre bolesti >0 na vizuální analogové škále (VAS)

vulvodynie přetrvávající déle než 3 měsíce, definovaná jako každodenní pociťování bolesti;

věk 20-75 let;

podepsání formuláře písemného souhlasu;

přínosy pro pacienty nebyly jinými terapeutickými přístupy dosažitelné.

### **Kritéria vyloučení**

Kritéria pro vyloučení byly akutní zánět pánve během posledních 6 měsíců;

onkologické onemocnění během posledních 5 let;

klinicky významné hematologické onemocnění, jako je hemofilie nebo jiné krvácivé poruchy;

infarkt myokardu nebo srdeční arytmie během posledních 6 měsíců a jakékoli závažná

metabolická porucha (např. cukrovka s organickými změnami).

Subjektivní bolest pacientka sama uvedla během vyšetření a přijetí do studie. Generalizovaná vulvální bolest a pálení byly kvantifikovány pomocí 10 cm lineární vizuální analogové škály (VAS) (s 0 = žádná bolest a 10 = maximální bolest). Subjektivní bolest byla také hodnocena vatovým tamponovým testem pomocí Goetschovy škály (od 0–4), přičemž 0 značila žádnou bolest a 4 silnou bolest.

## **Randomizace**

Účastníci byli randomizováni buď do léčebné skupiny, nebo do skupiny s placebem pomocí statistického softwaru IBM SPSS. Data byla statisticky zpracována pomocí systému IBM SPSS. Správná velikost vzorku byla vypočtena pomocí IBM Sample Power 3. Pro výpočet jsme použili data z naší předchozí studie proveditelnosti. Očekávali jsme minimální změnu VAS o 11 % a SD 1,3. Potřebovali jsme alespoň 56 účastníků (n=28 v každé skupině).

Vytvořili jsme dvě skupiny pacientů pro léčbu. Léčebná skupina zahrnovala 31 pacientů ve věku 24–52 let (průměrný věk 40 let), zatímco skupinu s placebem tvořilo 31 pacientů ve věku 27–57 let (průměrný věk 39). Mezi skupinami nebyly žádné významné rozdíly v paritě a indexu tělesné hmotnosti. Obě skupiny byly plně srovnatelné.

## **Metoda provedení**

Pacienti dostávali perineálně aplikovanou ESWT týdně (3000 pulzů každý po dobu čtyř po sobě jdoucích týdnů).

Všichni pacienti byli léčeni v poloze na zádech. Poloha sondy rázové vlny se měnila po každých 500 pulzech. Bylo ošetřeno šest oblastí pokrývajících celou vulvu a perineum (obr. 1). Hustota energetického toku byla 0,25 mJ/mm<sup>2</sup>, frekvence 4 Hz, ohnisková zóna 0-30 mm a terapeutická účinnost 0-90 mm, odstup II.).

Použitým zařízením byla standardní jednotka elektromagnetické rázové vlny s předsádkou č. 2 s fokusovanou rázovou vlnou DUOLITH® SD1, Storz Medical, Taegerwilen, Švýcarsko.

Skupina s placebem podstoupila stejný léčebný postup jako léčebná skupina, ale nástavec byl vybaven placebo předsádkou obsahující materiál absorbující rázové vlny, vrstvu vzduchu a vzduchem naplněné mikrokuličky, které znemožnily přenos energie, ale umožnily generování

ošetření napodobující zvuk a chvění. Navíc žádný z našich pacientů předtím neměl ESWT, takže zaslepení bylo účinné.

### **Hodnocení léčby**

Úleva od bolesti ve skupinách byla měřena rozdíly mezi VAS a CST před léčbou a úrovní bolesti po léčbě (srovnání před a po sledování). Následné kontroly byly provedeny po 1, 4 a 12 týdnech po ESWT. Údaje mezi léčebnými skupinami a skupinami s placebem byly porovnávány mezi srovnáváním (před a konkrétními sledováními). Během léčby a sledování byla současná terapie vulvodynie zakázána. Podle klinické praxe předpokládáme, že změny > 30 % jsou klinicky relevantní.

Všechna sledování musela být dokončena před vlastní statistickou analýzou.

### **Statistická analýza**

S ohledem na rozložení dat jsme zvolili vhodné testy pro analýzu v rámci skupiny i mezi skupinami.

#### **4.5.2. Metodika studie 2.**

Studie dyspareunie se zúčastnilo 62 žen ve věku 20-51 let s objektivní dyspareunií po dobu nejméně 3 měsíců během posledních 6 měsíců. **Kritéria pro zařazení** byla založena na splnění všech následujících kritérií dyspareunie: bolestivá penilně-vaginální penetrace bez pánevních organických důvodů primárně spojených s bolestí, skóre >0 na Marinoff škále dyspareunie (Marinoff), a skóre >0 na vizuální analogové škále (VAS), věk 20-75 let a trvání dyspareunie > 3 měsíce během posledních 6 měsíců. Pro hodnocení diskomfortu byla hlavním měřením Marinoff stupnice pro dyspareunii. VAS sloužila jako sekundární měřítko bolesti.

Přínosy pro pacienty byly nedosažitelné jinými terapeutickými přístupy.

## **Kritéria vyloučení**

Kritéria pro vyloučení byly akutní zánět pánve během posledních 6 měsíců, onkologické onemocnění během posledních 5 let, klinicky významné hematologické onemocnění (například hemofilie nebo jiné krvácivé poruchy), infarkt myokardu nebo srdeční arytmie během posledních 6 měsíců, jakékoli závažné porucha (např. diabetes s organickými změnami) a postižení v zamýšlené oblasti aplikace.

## **Hodnocení bolesti**

Bolest během penilně-vaginálního pohlavního styku byla pacientkou kvantifikována pomocí Marinoff škály dyspareunie. Intenzita vulvo-perineální bolesti byla dále hodnocena pomocí 10 cm lineárního měřidla, VAS (0 = žádná bolest a 10 = maximální bolest).

## **Randomizace**

Účastníci byli randomizováni do jedné ze dvou skupin pomocí statistického softwaru IBM SPSS. Hlavním parametrem pro randomizaci byla míra bolesti při pohlavním styku u pacientů (Marinoff). K výpočtu dostatečné velikosti vzorku byl použit IBM Sample Power. Naše odhady byly založeny na naší předchozí studii proveditelnosti, ve které byl rozdíl směrodatné odchylky 0,868. Očekávali jsme průměrný rozdíl alespoň 0,5. Při statistické síle alespoň 80 % jsme určili, že pro každou skupinu je zapotřebí 26 pacientů. Vzhledem k očekávanému výpadku přibližně 10 % byl však celkový počet potřebných pacientů 58 (29 v každé skupině).



## 5. Výsledky

### 5.1. Výsledky studie 1

V léčené skupině bylo 31 pacientů a ve skupině s placebem 30 pacientů. Jedna další pacientka v placebo skupině absolvovala první follow-up, zbývající dva však ne. Proto jsme tuto pacientku vyloučili ze všech párových srovnání. S ESWT nebyly spojeny žádné vedlejší účinky (např. krvácení, hematom, modřiny, puchýře).

Data byla testována na normalitu pomocí deskriptivních numerických metod. Normalita proměnných byla také hodnocena statistikou Shapiro-Wilk a Kolmogorov-Smirnov testu.

Data nepodporovala Gaussovu distribuci, použili jsme proto neparametrické statistické metody. Mediány byly hodnoceny u všech proměnných. Vzhledem k parametrům bolestí byly mediány korelovány na celá čísla a jejich poloviny.

### **Srovnání mezi skupinami**

Před léčbou nebyl pozorován žádný rozdíl mezi léčbou a skupinou s placebem, ačkoliv statisticky významné rozdíly byly zaznamenány u všech tří párů při FU sledování pro VAS a CST ( $p < 0,01$ ;  $p < 0,01$ ) (Tab.1). Celkově byly hodnoceny 4 páry proměnných. Pro výpočet rozdílů mezi skupinami byl proveden Mann-Whitney U test pro neparametrické vzorky.

Tabulka 1

**Komparace mezi skupinami Placebo a Léčená**

užitím Mann-Whitney U testu

Parameter	Median	Median	Signifikantní změny
	Placebo	Léčená skupina	
VAS_před léčbou	6	6	p=0.93
VAS_1_týden léčby	6	3	p<0.001
VAS_4_týden léčby	6.5	2.5	p<0.001
VAS_12_týden léčby	6	2.5	p<0.001
CST_před léčbou	3	3	p=0.97
CST_1_týden léčby	3	0.5	p<0.05
CST_4_týden léčby	3.5	1	p<0.05
CST_12_týden léčby	3	0.5	p<0.05

VAS=visual analogue scale (0-10); CST=cotton-swab test (Goetsch scale, 0-4)

NS=not significant

**Srovnání v rámci skupiny**

Pro rozdíly ve skupině léčené a skupině s placebem pro VAS a CST byl použit Friedmanův test. Při jeho významnosti byl následně použit post-hoc Wilcoxon-sign-test. Zde byly provedeny tři testy. Statistická významnost byla nastavena na  $p < 0,05$  (oboustranná) pro všechny analýzy. Ve skupinách s placebem nedošlo k žádnému významnému snížení subjektivní bolesti a Friedmanův test byl negativní. VAS a CST;  $p=0,81$  a  $p=0,76$  v tomto pořadí.

V léčené skupině jsme našli velké, statisticky významné rozdíly mezi pacientem hlášenou bolestí před léčbou a třemi obdobími sledování FU. Hodnota  $p$  ve všech srovnáních pro VAS byla  $p < 0,01$  a pro CST  $p < 0,01$  (Tab.3). Vlastní snížení bolesti bylo vždy  $> 30 \%$ , což

odpovídá klinicky relevantnímu výsledku v souladu s literaturou. Toto zjištění, v souladu se studii CPPS, lze pravděpodobně vysvětlit specifičností této bolesti.

**Tabulka 2**

**Komparace ve skupině Placebo a Léčené**

**užitím Wilcoxon-signed-ranks testu**

Parametr	Signifikantí změny	
	Placebo skupina	Léčená skupina
VAS_před léčbou vs_1_týden	NS	p<0.001 SIG
VAS_před léčbou vs_4_týden	NS	p<0.001 SIG
VAS_před léčbou vs_12_týden	NS	p<0.001 SIG
CST_před léčbou vs_1_týden	NS	p<0.001 SIG
CST_před léčbou vs_4_týden	NS	p<0.001 SIG
CST_před léčbou vs_12_týden	NS	p<0.001 SIG

VAS=visual analogue scale (0-10); CST=cotton-swab test (Goetsch scale, 0-4)

NS=not significant

## 5.2. Výsledky studie 2

Studie se zúčastnilo 62 žen ve věku 20-51 let s objektivní dyspareunií po dobu nejméně 3 měsíců během posledních 6 měsíců. Vytvořili jsme dvě skupiny pacientů (léčebné a placebové skupiny). Léčebná skupina zahrnovala 31 pacientů ve věku 24-51 let (průměrný věk 40), zatímco skupina s placebem tvořila 31 pacientů ve věku 20-50 let (průměrný věk 39). Mezi skupinami nebyly žádné významné rozdíly v paritě nebo indexu tělesné hmotnosti. Obě skupiny byly srovnatelné ve všech demografických proměnných.

Studii dokončilo 30 pacientů v léčené skupině a 31 ve skupině s placebem. Jedna pacientka v léčené skupině podstoupila léčbu, ale neúčastnil se žádné z FU z osobních důvodů. Tato pacientka byla vyloučena z další analýzy.

K testování normality příslušných datových souborů byla použita deskriptivní numerická metoda. Normalita proměnných byla také hodnocena pomocí Shapiro-Wilkova a Kolmogorova-Smirnovova testu. Protože data neodpovídala Gaussovo rozdělení, použili jsme neparametrické statistiky. Mediány byly použity pro všechny proměnné. Vzhledem k hodnocení bolestí byly mediány specifikovány na celá čísla a jejich poloviny.

### **Srovnání mezi skupinami**

Pro výpočet rozdílů mezi léčenou skupinou a skupinou s placebem byl proveden Mann-Whitney U test pro neparametrické vzorky. Byly provedeny čtyři testy. Před léčbou nebyl pozorován žádný významný rozdíl mezi léčebnou skupinou a skupinou s placebem, ale statisticky významné rozdíly byly zaznamenány u tří FU pro Marinoff a VAS ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,001$ ) (Tab.3).

Tabulka 3

Komparace mezi skupinami Placebo a Léčená  
užitím Mann-Whitney U testu

Parameter	Median	Median	Signifikantní změny	
	Placebo	Léčená skupina		
Marinoff_před léčbou	2	2	p=0.982	NS
Marinoff_1_týden léčby	2	0	p<0.001	SIG
Marinoff_4_týden léčby	2	0	p<0.001	SIG
Marinoff_12_týden léčby	2	0	p<0.001	SIG
VAS_před léčbou	4	4	p=0.871	NS
VAS_1_týden léčby	4	1	p<0.001	SIG
VAS_4_týden léčby	4	0.5	p<0.001	SIG
VAS_12_týden léčby	4	0	p<0.001	SIG

Marinoff=Marinoff scale (0-3); VAS=visual analog scale (0-10)

NS=not significant; SIG=significant

### Srovnání ve skupině

Pro rozdíly ve skupině léčené a skupině s placebem byl použit Friedmanův test. Při jeho významnosti byl následně použit post-hoc Wilcoxon-sign-test. Zde byly provedeny tři testy. Statistická významnost byla nastavena na  $p < 0,05$  (oboustranná) pro všechny analýzy. Ve skupině s placebem nebyly Friedmanovy testy významné, Marinoff  $p = 0,72$  a VAS  $p = 0,74$ . Pro skupinu léčenou byl Friedmanův test významný pro sledování Marinoff  $p < 0,001$  a

podobně VAS  $p < 0,001$ . Proto jsme post-hoc šetření provedli pomocí Wilcoxon-sign testu. Velké, statisticky významné rozdíly byly zaznamenány v léčebné skupině u pacientem hlášené bolesti před léčbou a u tří FU (všechny  $p < 0,001$ , (Tab.4).). Velikost účinku pro data mezi před a 12 týdnů po léčbě byla vypočtena pro Marinoff 0,825 a VAS 0,883, který odpovídá významnému účinku, podle interpretace velikosti účinku jako malý ( $d = 0,2$ ), střední ( $d = 0,5$ ) a velké ( $d = 0,8$ ) na základě referenčních hodnot navržených Cohenem (1988).

**Tabulka 4**

**Komparace ve skupině Placebo a Léčené**

**užitím Wilcoxon-signed-ranks testu**

Parameter	Signifikantní změny	
	Placebo skupina	Léčená skupina
Marinoff_před léčbou vs_1_týden	NS	$p < 0.001$ SIG
Marinoff_před léčbou vs_4_týden	NS	$p < 0.001$ SIG
Marinoff_před léčbou vs_12_týden	NS	$p < 0.001$ SIG
VAS_před léčbou vs_1_týden	NS	$p < 0.001$ SIG
VAS_před léčbou vs_4_týden	NS	$p < 0.001$ SIG
VAS_před léčbou vs_12_týden	NS	$p < 0.001$ SIG

**Marinoff=Marinoff scale (0-3); VAS=visual analog scale (0-10)**

**NS=not significant; SIG=significant**

## 6. Diskuse

Pokud je nám známo, jedná se o první randomizované kontrolované studie, která používají ESWT k léčbě vulvodynie a dyspareunie u žen. Hyperstimulace nociceptorů indukovaná ESWT a změny vzorců v CNS mohou hrát zásadní roli v léčbě CPPS. Někteří autoři navrhli možné přerušení vedení nervových pulzů ESWT. Předpokládá se, že autonomní nervový systém a koordinace mezi hladkými a příčně pruhovanými svaly se podílejí na změně struktur během léčby rázovými vlnami (Holfeld, Tepekoylu, et al., 2016; Tepeköylü et al., 2017). Klinické studie uvádějí stimulaci růstových faktorů a podporu a tvorbu nových krevních cév (angiogeneze) (Kisch et al., 2016). Mimochodem, řada ortopedických a urologických sledování neuvěděla žádné vedlejší účinky ESWT (Palmieri et al., 2009; Rompe, Decking, Schoellner, & Theis, 2004; Rompe, Meurer, Nafe, Hofmann, & Gerdesmeyer, 2005). Vysoká snášenlivost ESWT a schopnost aplikovat rázové vlny bez anestezie umožňují hodnocení bez jakýchkoli rizik pro pacienta (Rompe et al., 2005). Přesto vidíme určitá omezení pro zahájení ESWT ve smyslu nevhodnosti techniky při lokální infekci a kožních onemocněních, i když tyto problémy jsou v literatuře popsány pouze povrchně. Nedočkali jsme se očekávaného placebo efektu, podobně jak zmíněno ve studiích CPPS u mužů. I když jsme věděli, že účinek léčby ESWT je závislý na dávce, nepřekročili jsme hladinu 0,25 mJ/mm<sup>2</sup> při léčbě vulvodynie a hladinu 0,35 mJ/mm<sup>2</sup> při léčbě dyspareunie z důvodu potenciální nesnášenlivosti bolesti způsobené aplikací ESWT (Seehusen et al., 2014; Zimmermann, Cumpanas, Miclea, & Janetschek, 2009). Vlastní snížení bolesti bylo vždy > 30 %, což odpovídá klinicky relevantnímu výsledku v souladu s literaturou (Farrar et al., 2001). Dalším pozitivním zjištěním je, že nebyly žádné vedlejší účinky (např. krvácení, hematoma, modřiny, puchýře) spojené s léčbou ESWT (Palmieri et al., 2009).

Silnou stránkou těchto studií je relativní jednoduchost a reprodukovatelnost v jiných prostředích a s větším počtem pacientů. Hlavní slabinou je, že jsme neměli žádné objektivní měření závažnosti bolesti při vulvodynii a zejména pokud jde o pohlavní styk – dyspareunii.

Jednou z eventálních možností by bylo hodnocení snímků mozkových scanů. Dalším omezením jsou vylučovací kritéria ze studie, která mohou snížit zobecnitelnost výsledků vzorku studie na cílovou populaci. Tato vylučovací kritéria byla použita z důvodů bezpečnosti techniky.

## 7. Závěr

V této práci jsme zvolili a statisticky významně prokázali možnost a vhodnost použití ESWT, neinvazivní techniky, při léčbě vulvodynie, tedy dlouhodobě persistující bolesti v oblasti perinea u žen a dyspareunie, spasmy a bolesti v oblasti hráze znemožňující pohlavní styk v různé podobě. Tyto bolesti a spasmy jsou často spojovány se svalovými strukturami hráze. Tyto obtíže jsou samozřejmě možné a téměř jisté při různých onemocněních různé geneze, které si vyžadují konkrétní léčbu. My jsme se však soustředili na obtíže inaparentní, kde vlastní příčina bolestí a spasmů není zřejmá a kde se použitá léčba neseťká s úspěchem. U vulvodynie je typické, že klientky nemohou existovat bez analgetik a jejich život je spojen se značným utrpením. U dyspareunie jsou obtíže diskrétnější, nicméně jejich osobní život je spojen s různou formou odříkání a velmi frekventně dochází k soukromým katastrofám. Výstupy našich studií podporují návrh využití ESWT jako možné techniky léčby jak vulvodynie, tak dyspareunie inaparentního původu. Velmi pravděpodobně by se tím snížila frekvence použití analgetik a myorelaxancií. Technika ESWT je snadno replikovatelná a nákladově efektivní. Využití ESWT v ortopedii a rehabilitaci je bez sebemenších diskuzí. Možnost jejího užití v oblasti svalově vazivových struktur pánevního dna by jistě rozšířilo naše možné armamentarium. Další diskuze na téma frekvencí aplikace a toku energie by byla jistě přínosem a možným pokračováním studie.



## 8. Seznam obrázků

Obázky použité v práci jsou autorovi poskytnuty s laskavostí Level 10 publishing house, viz dále. Nesmějí být žádnou formou kopírovány či upravovány elektronicky jinou formou a použity pro jiné účely.

Kind permission of Level10 publishing house, Dreisilker U., Shock Wave Therapy in Practice – Enthesopathies, Level10 Verlag, 2010

and Level10 publishing house Bätje F., Dreisilker U., Shock Wave Therapy in Practice – Pseudarthrosis, Level10 Verlag, 2016

Obrázek 1. Typický ultrazvukový signál

Obrázek 2. Typická křivka rázové vlny

Obrázek 3. Zdroje rázové vlny užívané v medicíně

Obrázek 4. Fokusování rázové vlny uvnitř těla

Obrázek 5. Distribuce typické rázové vlny

Obrázek 6. Tlaková distribuce ve fokusované zóně

Obrázek 7. Prezentace -6 db fokusované zóny a 5 MPA léčebné zóny  
při různých úrovních energie

Obrázek 8. Typické aplikace rázových vln v medicíně při odpovídajících úrovních energie

Obrázek 9. Micro-jet kolaps kavitační bubliny

Obrázek 10. Vytvoření pneumaticky generovaných tlakových vln a jejich superficiální efekt

Obrázek 11. Typické parametry fokusovaných šokových a radiálních tlakových vln

Obrázek 12. Přehled fundamentálních rozdílů mezi šokovými a tlakovými vlnami

## 9. Seznam vlastní literatury

Literatura s návazností na zpracovanou tematiku

1. Hurt K, Zahalka F, Halaska M, Rakovicova I, Krajcova A. Extracorporeal shock wave therapy for treatment of vulvodynia: a prospective, randomized, double-blind, placebo-controlled study. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2020;56(2):169-74. doi: 10.23736/s1973-9087.20.05903-1. PubMed PMID: WOS:000534475700007. IF=5.3 Q1 2/68
2. Hurt K, Zahalka F, Halaska M, Rakovicova I, Rakovic J, Cmelinsky V. Extracorporeal shock wave therapy for treating dyspareunia: A prospective, randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2021;64(6). doi: 10.1016/j.rehab.2021.101545. PubMed PMID: WOS:000741054400005. IF=6.3 Q1 3/68
3. Hurt K, Zahalka F, Zikan M, Rackova J, Rakovicova I, Rakovic J, et al. Hypoxia as a potential cause of dyspareunia. *Plos One*. 2023;18(4). doi: 10.1371/journal.pone.0281268. PubMed PMID: WOS:000984450900010. IF=4.07
4. Hurt K, Zahalka F, Halaska M, Rakovicova I, Krajcova A. SHOCK WAVE THERAPY FOR THE TREATMENT OF DYSpareunia. FEASIBILITY STUDY. *Aktualni Gynekologie a Porodnictvi*. 2019;11:34-7. PubMed PMID: WOS:000493908400001.
5. Hurt K, Svestkova O, Halaska M, Driak D, Rakovicova I, Musalek M, et al. EXTRACORPOREAL SHOCK WAVE THERAPY FOR THE TREATMENT OF VULVODYNIA. FEASIBILITY STUDY. *Aktualni Gynekologie a Porodnictvi*. 2019;11:18-22. PubMed PMID: WOS:000463395800005.

Všechny uvedené publikace jsou citovány ve Web of Science, IF mají první tři, z toho první 2 v prvním decilu jak uvedeno. Jsou použité výsledky a forma v této práci. Online jsou k dispozici ve volně přístupných databázích a z důvodu copyrightu nikoliv v této online verzi.

**Literatura následující a citace z ní vycházející jsou citovány dle citační normy APA 6th**

## 10. Literatura

- Ailey, M. R., Pishchalnikov, Y. A., Sapozhnikov, O. A., Cleveland, R. O., McAteer, J. A., Miller, N. A., . . . Evan, A. P. (2005). Cavitation detection during shock-wave lithotripsy. *Ultrasound Med Biol*, *31*(9), 1245-1256. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2005.02.017
- Arendt-Nielsen, L., Mense, S., & Graven-Nielsen, I. (2003). Assessment of muscle pain and hyperalgesia. Experimental and clinical findings. *Schmerz*, *17*(6), 445-449. doi:10.1007/s00482-003-0260-8
- Bergeron, S., Binik, Y. M., Khalife, S., Pagidas, K., Glazer, H. I., Meana, M., & Amsel, R. (2001). A randomized comparison of group cognitive-behavioral therapy, surface electromyographic biofeedback, and vestibulectomy in the treatment of dyspareunia resulting from vulvar vestibulitis. *Pain*, *91*(3), 297-306. doi:10.1016/s0304-3959(00)00449-8
- Bhide, A. A., Puccini, F., Bray, R., Khullar, V., & Digesu, G. A. (2015). The pelvic floor muscle hyperalgesia (PFMH) scoring system: a new classification tool to assess women with chronic pelvic pain: multicentre pilot study of validity and reliability. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, *193*, 111-113. doi:10.1016/j.ejogrb.2015.07.008
- Binik, Y. M. (2010). The DSM Diagnostic Criteria for Vaginismus. *Archives of Sexual Behavior*, *39*(2), 278-291. doi:10.1007/s10508-009-9560-0
- Blackmore, J., Shrivastava, S., Sallet, J., Butler, C. R., & Cleveland, R. O. (2019). Ultrasound Neuromodulation: A Review of Results, Mechanisms and Safety. *Ultrasound Med Biol*, *45*(7), 1509-1536. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2018.12.015
- Bornstein, J., Goldstein, A. T., Stockdale, C. K., Bergeron, S., Pukall, C., Zolnoun, D., . . . Int Pelvic Pain, S. (2016). 2015 ISSVD, ISSWSH and IPPS Consensus Terminology and Classification of Persistent Vulvar Pain and Vulvodynia. *Obstetrics and Gynecology*, *127*(4), 745-751. doi:10.1097/aog.0000000000001359
- Bourcier, A. P. *Physical therapy for female pelvic floor disorders. [Editorial]: Current Opinion in Obstetrics & Gynecology August 1994*;6(4):331-335.
- Carvalho, J., Vieira, A. L., & Nobre, P. (2012). Latent Structures of Female Sexual Functioning. *Archives of Sexual Behavior*, *41*(4), 907-917. doi:10.1007/s10508-011-9865-7
- Costa Talens, P., & Colorado, V. (1971). Un problema ginecologico en al papiro Ramesseum IV. *Med Esp*, *66*, 274-276.
- Csaszar, N. B. M., Angstman, N. B., Milz, S., Sprecher, C. M., Kobel, P., Farhat, M., . . . Schmitz, C. (2015). Radial Shock Wave Devices Generate Cavitation. *Plos One*, *10*(10). doi:10.1371/journal.pone.0140541
- Delius, M., Denk, R., Berding, C., Liebich, H. G., Jordan, M., & Brendel, W. (1990). Biological effects of shock waves: cavitation by shock waves in piglet liver. *Ultrasound Med Biol*, *16*(5), 467-472. doi:10.1016/0301-5629(90)90169-d
- Desrochers, G., Bergeron, S., Khalife, S., Dupuis, M. J., & Jodoin, M. (2009). Fear Avoidance and Self-efficacy in Relation to Pain and Sexual Impairment in Women With Provoked Vestibulodynia. *Clinical Journal of Pain*, *25*(6), 520-527.
- Dreisilker, U. (2010). *Enthesiopathies. Level10 Verlag, 2010*(1).

- Duez, L., Qerama, E., Jensen, T. S., & Fuglsang-Frederiksen, A. (2015). Modulation of the muscle and nerve compound muscle action potential by evoked pain. *Scandinavian Journal of Pain*, 6, 55-60. doi:10.1016/j.sjpain.2014.05.028
- Farrar, J. T., Young, J. P., LaMoreaux, L., Werth, J. L., & Poole, R. M. (2001). Clinical importance of changes in chronic pain intensity measured on an 11-point numerical pain rating scale. *Pain*, 94(2), 149-158. doi:10.1016/s0304-3959(01)00349-9
- Fedele, L. M., Bianchi, S. M., Bocciolone, L. M., Di Nola, G. M., & Parazzini, F. M. D. *Pain Symptoms Associated With Endometriosis. [Article]: Obstetrics & Gynecology* May 1992;79(5):767-769.
- Fenton, B. W. (2007). Limbic associated pelvic pain: A hypothesis to explain the diagnostic relationships and features of patients with chronic pelvic pain. *Medical Hypotheses*, 69(2), 282-286. doi:10.1016/j.mehy.2006.12.025
- Fenton, B. W., Brobeck, L., Witten, E., & Von Gruenigen, V. (2012). Chronic Pelvic Pain Syndrome-Related Diagnoses in an Outpatient Office Setting. *Gynecologic and Obstetric Investigation*, 74(1), 64-67. doi:10.1159/000336768
- Fernandez-De-Las-Penas, C., Cuadrado, M. L., Arendt-Nielsen, L., Simons, D. G., & Pareja, J. A. (2007). Myofascial trigger points and sensitization: an updated pain model for tension-type headache. *Cephalalgia*, 27(5), 383-393. doi:10.1111/j.1468-2982.2007.01295.x
- Furia, J. P. (2006). High-energy extracorporeal shock wave therapy as a treatment for insertional Achilles tendinopathy. *Am J Sports Med*, 34(5), 733-740. doi:10.1177/0363546505281810
- Furia, J. P., Rompe, J. D., Cacchio, A., Del Buono, A., & Maffulli, N. (2013). A single application of low-energy radial extracorporeal shock wave therapy is effective for the management of chronic patellar tendinopathy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 21(2), 346-350. doi:10.1007/s00167-012-2057-8
- Furia, J. P., Rompe, J. D., Maffulli, N., Cacchio, A., & Schmitz, C. (2017). Radial Extracorporeal Shock Wave Therapy Is Effective and Safe in Chronic Distal Biceps Tendinopathy. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 27(5), 430-437. doi:10.1097/jsm.0000000000000399
- Gentilcore-Saulnier, E., McLean, L., Goldfinger, C., Pukall, C. F., & Chamberlain, S. (2010). Pelvic Floor Muscle Assessment Outcomes in Women With and Without Provoked Vestibulodynia and the Impact of a Physical Therapy Program. *Journal of Sexual Medicine*, 7(2), 1003-1022. doi:10.1111/j.1743-6109.2009.01642.x
- Gleitz, M., & Hornig, K. (2012). [Trigger points - Diagnosis and treatment concepts with special reference to extracorporeal shockwaves]. *Orthopade*, 41(2), 113-125. doi:10.1007/s00132-011-1860-0
- Gleitz, M., & Novak, P. (2011). Myofascial syndromes & Trigger points. *Level10 Verlag*, 2011(1).
- Graven-Nielsen, T., Arendt-Nielsen, L., & Mense, S. (2002). Thermosensitivity of muscle: high-intensity thermal stimulation of muscle tissue induces muscle pain in humans. *Journal of Physiology-London*, 540(2), 647-656. doi:10.1113/jphysiol.2001.013336
- Graven-Nielsen, T., & Mense, S. (2001). The peripheral apparatus of muscle pain: evidence from animal and human studies. *Clin J Pain*, 17(1), 2-10. doi:10.1097/00002508-200103000-00002
- Graven-Nielsen, T., Mense, S., & Arendt-Nielsen, L. (2004). Painful and non-painful pressure sensations from human skeletal muscle. *Exp Brain Res*, 159(3), 273-283. doi:10.1007/s00221-004-1937-7

- Hoffman, D. (2011). Understanding Multisymptom Presentations in Chronic Pelvic Pain: The Inter-relationships Between the Viscera and Myofascial Pelvic Floor Dysfunction. *Current Pain and Headache Reports*, 15(5), 343-346. doi:10.1007/s11916-011-0215-1
- Hofmann, A., Ritz, U., Rompe, J. D., Tresch, A., & Rommens, P. M. (2015). The effect of shock wave therapy on gene expression in human osteoblasts isolated from hypertrophic fracture non-unions. *Shock Waves*, 25(1), 91-102. doi:10.1007/s00193-014-0542-3
- Hoheisel, U., Reuter, R., de Freitas, M. F., Treede, R. D., & Mense, S. (2013). Injection of nerve growth factor into a low back muscle induces long-lasting latent hypersensitivity in rat dorsal horn neurons. *Pain*, 154(10), 1953-1960. doi:10.1016/j.pain.2013.05.006
- Holfeld, J., Tepekoylu, C., Paulus, P., Kozaryn, R., Mathes, W., Albrecht-Schgoer, S. K., . . . Grimm, M. (2012). Myocardial regeneration by low energy shock wave treatment. *Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, 6, 381-381.
- Holfeld, J., Tepekoylu, C., Reissig, C., Lobenwein, D., Scheller, B., Kirchmair, E., . . . Paulus, P. (2016). Toll-like receptor 3 signalling mediates angiogenic response upon shock wave treatment of ischaemic muscle. *Cardiovascular Research*, 109(2), 331-343. doi:10.1093/cvr/cvv272
- Holfeld, J., Zimpfer, D., Albrecht-Schgoer, K., Stojadinovic, A., Paulus, P., Dumfarth, J., . . . Grimm, M. (2016). Epicardial shock-wave therapy improves ventricular function in a porcine model of ischaemic heart disease. *Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, 10(12), 1057-1064. doi:10.1002/term.1890
- Chaussy, C., Schmiedt, E., Jocham, D., Brendel, W., Forssmann, B., & Walther, V. (2017). FIRST CLINICAL EXPERIENCE WITH EXTRACORPOREALLY INDUCED DESTRUCTION OF KIDNEY STONES BY SHOCK WAVES. *Journal of Urology*, 197(2), S160-S163. doi:10.1016/j.juro.2016.10.104
- Chaussy, C. G., & Tiselius, H. G. (2018). How can and should we optimize extracorporeal shockwave lithotripsy? *Urolithiasis*, 46(1), 3-17. doi:10.1007/s00240-017-1020-z
- Cheng, Y. W., Decety, J., Lin, C. P., Hsieh, J. C., Hung, D., & Tzeng, O. J. L. (2007). Sex differences in spinal excitability during observation of bipedal locomotion. *Neuroreport*, 18(9), 887-890. doi:10.1097/WNR.0b013e3280ebb486
- Christ, C., Brenke, R., Sattler, G., Siems, W., Novak, P., & Daser, A. (2008). Improvement in skin elasticity in the treatment of cellulite and connective tissue weakness by means of extracorporeal pulse activation therapy. *Aesthet Surg J*, 28(5), 538-544. doi:10.1016/j.asj.2008.07.011
- Ibrahim, M. I., Donatelli, R. A., Hellman, M., Hussein, A. Z., Furia, J. P., & Schmitz, C. (2017). Long-term results of radial extracorporeal shock wave treatment for chronic plantar fasciopathy: A prospective, randomized, placebo-controlled trial with two years follow-up. *J Orthop Res*, 35(7), 1532-1538. doi:10.1002/jor.23403
- Kertzman, P., Császár, N. B. M., Furia, J. P., & Schmitz, C. (2017). Radial extracorporeal shock wave therapy is efficient and safe in the treatment of fracture nonunions of superficial bones: a retrospective case series. *J Orthop Surg Res*, 12(1), 164. doi:10.1186/s13018-017-0667-z
- Kisch, T., Wuerfel, W., Forstmeier, V., Liodaki, E., Stang, F. H., Knobloch, K., . . . Kraemer, R. (2016). Repetitive shock wave therapy improves muscular microcirculation. *Journal of Surgical Research*, 201(2), 440-445. doi:10.1016/j.jss.2015.11.049
- Kuo, T. L. C., Ng, L. G., & Chapple, C. R. (2015). Pelvic floor spasm as a cause of voiding dysfunction. *Current Opinion in Urology*, 25(4), 311-316. doi:10.1097/mou.0000000000000174

- Latthe, P., Latthe, M., Say, L., Gulmezoglu, M., & Khan, K. S. (2006). WHO systematic review of prevalence of chronic pelvic pain: a neglected reproductive health morbidity. *Bmc Public Health*, 6. doi:10.1186/1471-2458-6-177
- Lee, J. E., Wang, K. C., Chiang, H. Y., Hsieh, J. H., & Hsieh, S. T. (2012). Patterns of nerve injury and neuropathic pain in ischemic neuropathy after ligation-reperfusion of femoral artery in mice. *Journal of the Peripheral Nervous System*, 17(3), 301-311. doi:10.1111/j.1529-8027.2012.00418.x
- Lewit, K., & Olsanska, S. (2004). Clinical importance of active scars: Abnormal scars as a cause of myofascial pain. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 27(6), 399-402. doi:10.1016/j.jmpt.2004.05.004
- Lofgren, M., Broman, L., & Ekholm, J. (2008). Does rehabilitation decrease shoulder muscle activity in fibromyalgia in work or housework tasks? An electromyographical study. *Work-a Journal of Prevention Assessment & Rehabilitation*, 31(2), 195-208.
- Low, I., Wei, S. Y., Lee, P. S., Li, W. C., Lee, L. C., Hsieh, J. C., & Chen, L. F. (2018). Neuroimaging Studies of Primary Dysmenorrhea. *Adv Exp Med Biol*, 1099, 179-199. doi:10.1007/978-981-13-1756-9\_16
- Luginbuehl, H., Baeyens, J. P., Taeymans, J., Maeder, I. M., Kuhn, A., & Radlinger, L. (2015). Pelvic floor muscle activation and strength components influencing female urinary continence and stress incontinence: A systematic review. *Neurourology and Urodynamics*, 34(6), 498-506. doi:10.1002/nau.22612
- Maffulli, G., Iuliano, E., Padulo, J., Furia, J., Rompe, J., & Maffulli, N. (2018). Extracorporeal shock wave therapy in the treatment of midsubstance plantar fasciitis: the ASSERT database. *Mtj-Muscles Ligaments and Tendons Journal*, 8(3), 430-436. doi:10.11138/mltj/2018.8.3.430
- Maier, M., Saisu, T., Beckmann, J., Delius, M., Grimm, F., Hupertz, V., . . . Messmer, K. (2001). Impaired tensile strength after shock-wave application in an animal model of tendon calcification. *Ultrasound Med Biol*, 27(5), 665-671. doi:10.1016/s0301-5629(01)00348-9
- Marinoff, S. C., & Turner, M. L. C. (1992). VULVAR VESTIBULITIS SYNDROME. *Dermatologic Clinics*, 10(2), 435-444.
- Meana, M. (2009). Painful Intercourse: Dyspareunia and Vaginismus. *Journal of Family Psychotherapy*, 20(2-3), 198-220. doi:10.1080/08975350902970105
- Meinders, E., Pizzolato, C., Goncalves, B., Lloyd, D. G., Saxby, D. J., & Diamond, L. E. (2022a). Activation of the deep hip muscles can change the direction of loading at the hip. *Journal of Biomechanics*, 135. doi:10.1016/j.jbiomech.2022.111019
- Meinders, E., Pizzolato, C., Goncalves, B. A. M., Lloyd, D. G., Saxby, D. J., & Diamond, L. E. (2022b). The Deep Hip Muscles are Unlikely to Stabilize the Hip in the Sagittal Plane During Walking: A Joint Stiffness Approach. *Ieee Transactions on Biomedical Engineering*, 69(3), 1133-1140. doi:10.1109/tbme.2021.3114717
- Meinders, E., Pizzolato, C., Goncalves, B. A. M., Lloyd, D. G., Saxby, D. J., & Diamond, L. E. (2022c). Electromyography measurements of the deep hip muscles do not improve estimates of hip contact force. *Journal of Biomechanics*, 141. doi:10.1016/j.jbiomech.2022.111220
- Mense, S. (1999). Neurobiological basis of muscle pain. *Schmerz*, 13(1), 3-17. doi:10.1007/s004820050179
- Mense, S. (2003a). Objective differences between muscular and cutaneous pain. *Schmerz*, 17(6), 459-463. doi:10.1007/s00482-003-0264-4
- Mense, S. (2003b). The pathogenesis of muscle pain. *Curr Pain Headache Rep*, 7(6), 419-425. doi:10.1007/s11916-003-0057-6

- Mense, S. (2004a). Mechanisms of transition from acute to chronic muscle pain. *Orthopade*, 33(5), 525-+. doi:10.1007/s00132-003-0611-2
- Mense, S. (2004b). Neurobiological basis for the use of botulinum toxin in pain therapy. *J Neurol*, 251, 1-7. doi:10.1007/s00415-004-1102-z
- Mense, S. (2005). Change in tonicity of musculature as cause of pain. *Manuelle Medizin*, 43(3), 156-161. doi:10.1007/s00337-005-0360-x
- Mense, S. (2008). Muscle Pain: Mechanisms and Clinical Significance. *Deutsches Arzteblatt International*, 105(12), 214-U220. doi:10.3238/artzebl.2008.0214
- Mense, S. (2009). Algesic agents exciting muscle nociceptors. *Exp Brain Res*, 196(1), 89-100. doi:10.1007/s00221-008-1674-4
- Mense, S. (2011). [Differences between myofascial trigger points and tender points]. *Schmerz*, 25(1), 93-103; quiz 104. doi:10.1007/s00482-010-0965-4
- Mense, S., & Schiltenswolf, M. (2010). Fatigue and pain; what is the connection? *Pain*, 148(2), 177-178. doi:10.1016/j.pain.2009.11.010
- Mitchell, K. R., Geary, R., Graham, C. A., Datta, J., Wellings, K., Sonnenberg, P., . . . Mercer, C. H. (2017). Painful sex (dyspareunia) in women: prevalence and associated factors in a British population probability survey. *Bjog-an International Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 124(11), 1689-1697. doi:10.1111/1471-0528.14518
- Moller, L., Josefsson, A., Bladh, M., Lilliecreutz, C., & Sydsjo, G. (2015). Reproduction and mode of delivery in women with vaginismus or localised provoked vestibulodynia: a Swedish register-based study. *Bjog-an International Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 122(3), 329-334. doi:10.1111/1471-0528.12946
- Morin, M., & Bergeron, S. (2009). Pelvic floor rehabilitation in the treatment of dyspareunia in women. *Sexologies*, 18(2), 91-94. doi:10.1016/j.sexol.2009.01.003
- Niddam, D. M., & Hsieh, J. C. (2009). Neuroimaging of Muscle Pain in Humans. *Journal of the Chinese Medical Association*, 72(6), 285-293. doi:10.1016/s1726-4901(09)70374-0
- Niddam, D. M., Chan, R. C., Lee, S. H., Yeh, T. C., & Hsieh, J. C. (2007). Central modulation of pain evoked from myofascial trigger point. *Clinical Journal of Pain*, 23(5), 440-448. doi:10.1097/AJP.0b013e318058accb
- Novak, P., & Medimond. (2009, Nov 29-Dec 03). *Acoustic Wave Therapy for Treating Cosmetic Disorders*. Paper presented at the 15th World Congress of the International Confederation for Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery (IPRAS), New Delhi, INDIA.
- Palmieri, A., Imbimbo, C., Longo, N., Fusco, F., Verze, P., Mangiapia, F., . . . Mirone, V. (2009). A First Prospective, Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Clinical Trial Evaluating Extracorporeal Shock Wave Therapy for the Treatment of Peyronie's Disease (vol 56, pg 363, 2009). *European Urology*, 56(5), E43-E44. doi:10.1016/j.eururo.2009.07.039
- Pfaff, J. A., Boelck, B., Bloch, W., & Nentwig, G. H. (2016). Growth Factors in Bone Marrow Blood of the Mandible With Application of Extracorporeal Shock Wave Therapy. *Implant Dentistry*, 25(5), 606-612. doi:10.1097/id.0000000000000452
- Ramon, S., Gleitz, M., Hernandez, L., & Romero, L. D. (2015). Update on the efficacy of extracorporeal shockwave treatment for myofascial pain syndrome and fibromyalgia. *Int J Surg*, 24(Pt B), 201-206. doi:10.1016/j.ijsu.2015.08.083
- Rassweiler, J. J., Knoll, T., Kohrmann, K. U., McAteer, J. A., Lingeman, J. E., Cleveland, R. O., . . . Chaussy, C. (2011). Shock Wave Technology and Application: An Update. *Eur Urol*, 59(5), 784-796. doi:10.1016/j.eururo.2011.02.033

- Reilich, P., Fheodoroff, K., Kern, U., Mense, S., Seddigh, S., Wissel, J., & Pongratz, D. (2004). Consensus statement: botulinum toxin in myofascial [corrected] pain. *J Neurol*, *251 Suppl 1*, I36-38. doi:10.1007/s00415-004-1109-5
- Reissing, E. D., Binik, Y. M., Khalife, S., Cohen, D., & Amsel, R. (2004). Vaginal spasm, pain, and behavior: An empirical investigation of the diagnosis of vaginismus. *Archives of Sexual Behavior*, *33*(1), 5-17. doi:10.1023/B:ASEB.0000007458.32852.c8
- Rompe, J. D., Decking, J., Schoellner, C., & Theis, C. (2004). Repetitive low-energy shock wave treatment for chronic lateral epicondylitis in tennis players. *American Journal of Sports Medicine*, *32*(3), 734-743. doi:10.1177/0363546503261697
- Rompe, J. D., Furia, J., Cacchio, A., Schmitz, C., & Maffulli, N. (2015). Radial shock wave treatment alone is less efficient than radial shock wave treatment combined with tissue-specific plantar fascia-stretching in patients with chronic plantar heel pain. *International Journal of Surgery*, *24*, 135-142. doi:10.1016/j.ijss.2015.04.082
- Rompe, J. D., Meurer, A., Nafe, B., Hofmann, A., & Gerdesmeyer, L. (2005). Repetitive low-energy shock wave application without local anesthesia is more efficient than repetitive low-energy shock wave application with local anesthesia in the treatment of chronic plantar fasciitis. *Journal of Orthopaedic Research*, *23*(4), 931-941. doi:10.1016/j.orthres.2004.09.003
- Russe-Wilflingseder, K., Russe, E., Vester, J. C., Haller, G., Novak, P., & Krotz, A. (2013). Placebo controlled, prospectively randomized, double-blinded study for the investigation of the effectiveness and safety of the acoustic wave therapy (AWT (R)) for cellulite treatment. *Journal of Cosmetic and Laser Therapy*, *15*(3), 155-162. doi:10.3109/14764172.2012.759235
- Seehusen, D. A., Baird, D. C., & Bode, D. V. (2014). Dyspareunia in Women. *American Family Physician*, *90*(7), 465-470.
- Schaden, W., Thiele, R., Köpl, C., Pusch, M., Nissan, A., Attinger, C. E., . . . Stojadinovic, A. (2007). Shock wave therapy for acute and chronic soft tissue wounds: a feasibility study. *J Surg Res*, *143*(1), 1-12. doi:10.1016/j.jss.2007.01.009
- Schmidt, A., Delhasse, Y., Steingen, C., & Bloch, W. (2007). Shock waves influence the migration of mesenchymal stem cells (MSCs). *European Journal of Cell Biology*, *86*, 59-59.
- Siems, W., Grune, T., Voss, P., & Brenke, R. (2005). Anti-fibrosclerotic effects of shock wave therapy in lipedema and cellulite. *Biofactors*, *24*(1-4), 275-282. doi:10.1002/biof.5520240132
- Simon, J. C., Sapozhnikov, O. A., Khokhlova, V. A., Wang, Y. N., Crum, L. A., & Bailey, M. R. (2013). Ultrasonic Atomization: A Mechanism of Tissue Fractionation. *Proc Meet Acoust*, *133*(5). doi:10.1121/1.4805524
- Simonelli, C. a., Eleuteri, S. a., Petrucci, F. b., & Rossi, R. c. *Female sexual pain disorders: dyspareunia and vaginismus. [Miscellaneous Article]: Current Opinion in Psychiatry* November 2014;27(6):406-412.
- Simons, D. G. (2004). New aspects of Myofascial trigger points: Etiological and clinical. *Journal of Musculoskeletal Pain*, *12*(3-4), 15-21. doi:10.1300/J094v12n03\_03
- Simons, D. G. (2008). New views of myofascial trigger points: Etiology and diagnosis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *89*(1), 157-159. doi:10.1016/j.apmr.2007.11.016
- Singaravelu, S. K., Hoheisel, U., Mense, S., & Treede, R. D. (2021). Rat dorsal horn neurons primed by stress develop a long-lasting manifest sensitization after a short-lasting nociceptive low back input. *Pain Rep*, *6*(1), e904. doi:10.1097/pr9.0000000000000904
- Steege, J. F., & Zolnoun, D. A. (2009). Evaluation and Treatment of Dyspareunia. *Obstetrics and Gynecology*, *113*(5), 1124-1136. doi:10.1097/AOG.0b013e3181a1ba2a



- Suhr, F., Delhasse, Y., Bungartz, G., Schmidt, A., Pfannkuche, K., & Bloch, W. (2013). Cell biological effects of mechanical stimulations generated by focused extracorporeal shock wave applications on cultured human bone marrow stromal cells. *Stem Cell Research, 11*(2), 951-964. doi:10.1016/j.scr.2013.05.010
- Tepeköylü, C., Primessnig, U., Pölzl, L., Graber, M., Lobenwein, D., Nägele, F., . . . Holfeld, J. (2017). Shockwaves prevent from heart failure after acute myocardial ischaemia via RNA/protein complexes. *Journal of Cellular and Molecular Medicine, 21*(4), 791-801. doi:10.1111/jcmm.13021
- Thibault-Gagnon, S., McLean, L., Goldfinger, C., Pukall, C., & Chamberlain, S. (2016). Differences in the Biometry of the Levator Hiatus at Rest, During Contraction, and During Valsalva Maneuver Between Women With and Without Provoked Vestibulodynia Assessed by Transperineal Ultrasound Imaging. *Journal of Sexual Medicine, 13*(2), 243-252. doi:10.1016/j.jsxm.2015.12.009
- Tschoep, K., Hartmann, G., Jox, R., Thompson, S., Eigler, A., Krug, A., . . . Delius, M. (2001). Shock waves: a novel method for cytoplasmic delivery of antisense oligonucleotides. *Journal of Molecular Medicine-Jmm, 79*(5-6), 306-313. doi:10.1007/s001090100204
- Valouchova, P., & Lewit, K. (2009). Surface electromyography of abdominal and back muscles in patients with active scars. *Journal of Bodywork and Movement Therapies, 13*(3), 262-267. doi:10.1016/j.jbmt.2008.04.033
- Wasner, G., Brechot, A., Schattschneider, J., Allardt, A., Binder, A., Jensen, T. S., & Baron, R. (2002). Effect of sympathetic muscle vasoconstrictor activity on capsaicin-induced muscle pain. *Muscle & Nerve, 26*(1), 113-121. doi:10.1002/mus.10170
- Wasner, G., Schwarz, K., Schattschneider, J., Binder, A., Jensen, T. S., & Baron, R. (2004). Interaction between histamine-induced itch and experimental muscle pain. *European Journal of Pain, 8*(3), 179-185. doi:10.1016/s1090-3801(03)00099-5
- Wu, W. K., Maffulli, N., Furia, J. P., Meindlhumer, L., Sternecker, K., Milz, S., & Schmitz, C. (2021). Exposure of zebra mussels to radial extracorporeal shock waves: implications for treatment of fracture nonunions. *J Orthop Surg Res, 16*(1). doi:10.1186/s13018-021-02852-1
- Zimmermann, R., Cumanas, A., Miclea, F., & Janetschek, G. (2009). Extracorporeal Shock Wave Therapy for the Treatment of Chronic Pelvic Pain Syndrome in Males: A Randomised, Double-Blind, Placebo-Controlled Study. *European Urology, 56*(3), 418-424. doi:10.1016/j.eururo.2009.03.043