

## Deformace svalových vláken systémem vázaných částic

Martin Červenka<sup>1</sup>

### 1 Úvod

Wade et. al. (2014) ukázali, že osteoporóza je v dnešní době nemoc s vysokou prevalencí. Jedná se o onemocnění, které způsobuje řidnutí kostní tkáně. Oslabené kosti pak dokáží absorbovat mnohem méně síly, než dojde k fraktuře. To a mnohé další je dobrým důvodem, proč se zabývat hodnotami působících sil v muskuloskeletálním systému. Tyto hodnoty lze mimo jiné odhadnout modelováním deformací svalu.

Práce si klade za cíl prozkoumat existující metody deformace svalu za použití systému vázaných částic. Byla navržena metoda postavená na základě PBD (position based dynamics), zde navržená metoda je ještě obohacena o respektování anizotropie svalů. Metoda deformuje primárně povrchový model svalu, který je však v jakémkoliv okamžiku možné převést na model svalových vláken.

### 2 Existující přístupy

Dnes běžně používané přístupy pro fyzikální modelování jsou často postaveny na systému vázaných částic. Fyzikálně nejpřesnější skupina metod založená na systému vázaných částic je metoda konečných prvků (FEM - *finite element method*). Tato metoda je dostatečně přesná, je ale výpočetně náročná. Princip této metody je však poměrně jednoduchý – spočívá v rozdělení deformovaného (obecněji modelovaného) objektu na mnoho menších prvků, které si mezi sebou předávají hodnoty fyzikálních veličin (např. sil, vnitřních stavových veličin apod.).

Existuje i skupina výpočetně jednodušších metod, které se označují jako *mass spring* systémy (MSS) – jejich princip je takový, že se modelovaný objekt rozdělí na několik hmotných (*mass*) bodů, které se propojí pružinami (*spring*). Během deformace si body pomocí pružin předávají (typicky pomocí Hookova zákona) vzájemně působící síly.

Od všech zmíněných metod často požadujeme několik vlastností. Nejčastější požadavek je zachování vzdáleností mezi body a zamezení kolizí. Další požadavky mohou být například zachování objemu, tvaru apod. V práci byla uvažována i anizotropie svalu.

### 3 PBD (position based dynamics)

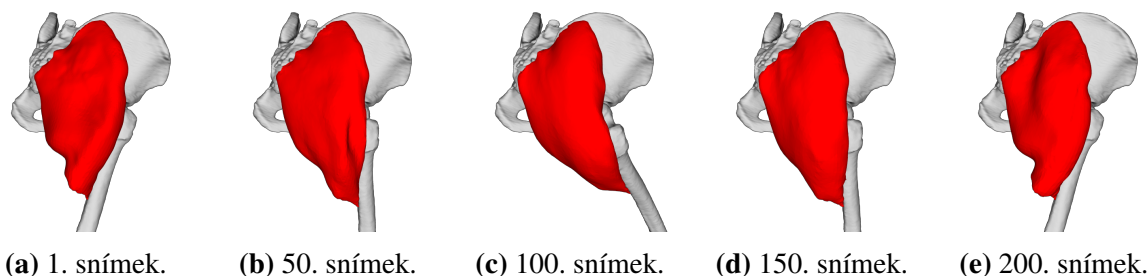
Jedná se podobně koncipovanou metodu jako je MSS, Müller et. al. (2007) ale ve svém PBD navrhli několik zjednodušení, proto tato metoda není zcela fyzikálně korektní. Nejvýznamnějším zjednodušením je optimalizace. V těchto úlohách (FEM, MSS, PBD atd.) se jedná o řešení soustavy nelineárních (diferenciálních) rovnic. Jenže v případě PBD je tato soustava řešena Gauss-Seidelovou metodou, která k tomu samozřejmě není určena. I přes to však bývá výsledek vizuálně v pořádku. Dalším zjednodušením je počítání přímo s pozicemi bodů.

---

<sup>1</sup> student navazujícího studijního programu Inženýrská informatika, obor Medicínská informatika, e-mail: cervemar@students.zcu.cz

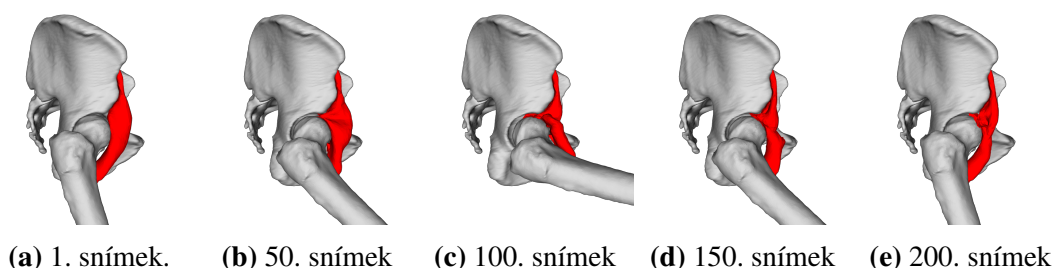
## 4 Výsledky

Postup byl otestován na třech reálných datasetech (svalch *gluteus maximus*, *gluteus medius* a *iliacus*) a několika umělých datasetech. Pozitivní výsledek pro *gluteus maximus* je vidět na obrázku 1, horší výsledek pro *iliacus* je pak na obrázku 2.



**Obrázek 1:** Chování algoritmu nad reálnými daty (*gluteus maximus*).

Během testování stehenní kost (*femur*) rotovala v rámci prvních 100 snímků o 1 radián „vpřed“ a v rámci dalších 100 snímků zpět. Další snímky byly ponechány pro stabilizaci modelu (nedocházelo k pohybu kostí), optimalizátor tedy měl čas konvergovat k původnímu tvaru.



**Obrázek 2:** Problém v blízkosti kloubu (*iliacus*).

## 5 Závěr

Cílem práce bylo navržení metody deformace svalových vláken. Byla navržena rychlá a efektivní metoda, která je i dostatečně přesná. Zjednodušení vedoucí k urychlení simulace však v některých případech (například v blízkosti kloubů) vedou k nepřesnostem. Ve většině případů je ale deformace realistická. Parametrizace metody také dovoluje modelovat různé druhy svalů.

## Literatura

- Wade, S.W., Strader, C., Fitzpatrick, L.A. et al. Estimating prevalence of osteoporosis: examples from industrialized countries. *Arch Osteoporos* 9: 182. <https://doi.org/10.1007/s11657-014-0182-3> (2014)
- M. Müller, B. Heidelberger, M. Hennix, J. Ratcliff. Position based dynamics. *Journal of Visual Communication and Image Representation*. vol. 18. p. 109-118. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2007.01.005> (2007)