

VYUŽITIE MATICOVÝCH TLAKOVÝCH SENZOROV (MTS) V PROTETIKE A ORTOTIKE

Ing. Viktória RAJŤUKOVÁ
doc. Ing. Radovan HUDÁK, PhD.
Dr.h.c. prof. Ing. Jozef ŽIVČÁK, PhD.

Katedra biomedicínskeho inžinierstva a merania
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00 Košice
e-mail: viktorija.rajtukova@tuke.sk
e-mail: radovan.hudak@tuke.sk
e-mail: jozef.zivcak@tuke.sk

Abstrakt

V protetike a ortotike je vzájomné tlakové pôsobenie ľudského tela a pomôcky dôležitým faktorom posudzovania biomechanického účinku. Pri návrhu výroby a aplikácii pomôcok, je dôležitá kvantifikácia uvedeného účinku, ktorú možno realizovať napr. aplikáciou maticových tlakových senzorov (MTS). Predložený príspevok má za úlohu vytvoriť prehľad MTS, ich princípov, vlastností a aplikačných možností v oblasti protetiky a ortotiky.

Kľúčové slová: protetika, ortotika, maticové tlakové senzory (MTS), meranie tlaku,

Abstract

Contact pressure between the human body and the prosthetic or orthotic aid is an important factor for the biomechanical effect assessment in prosthetics and orthotics. The quantification of mentioned effect is significant at the process of design, fabrication and application of aids and it can be realized for instance by matrix tactile sensors (MTS). Presented paper deals with overview of principles, parameters and applications of MTS's in prosthetics and orthotics.

Key words: prosthetics, orthotics, matrix tactile sensors (MTS), pressure measurement.

ÚVOD

V súčasnosti sa kladie dôraz na požiadavku na komplexný systém riadenia tlaku, ktorý je integrovaný so zásahmi v protetike a ortotike tak, aby bolo možné snímanie tlaku na vybraných lokalitách ľudského tela. Pomocou merania tlaku dokážeme predchádzať poškodeniam kože spôsobených pôsobením dlhodobými tlakovými zaťažzeniami, sledovať pôsobenie ortopedicko – protetických pomôcok na vybranú lokalitu. Maticové tlakové senzory sa používajú aj pri diagnostike, liečbe a rehabilitácii vybranej lokality [1]. Príspevok je prehľadnou štúdiou aplikácie MTS v oblasti protetiky a ortotiky.

SNÍMAČE POUŽÍVANÉ V PROTETIKE A ORTOTIKE

Meranie tlaku sa vykonáva maticovými tlakovými snímačmi, ktoré sú schopné získať údaje o skúmanom objekte jednoduchým dotykom daného objektu. Relevantné fyzikálne parametre pri vytvorení dotyku medzi dvomi telesami sú sila a deformácia.

Základom MTS je maticové usporiadanie citlivých prvkov. Hlavnou zložkou informácie, ktorú MTS poskytuje, je rozloženie normálových zložiek síl pôsobiacich na jednotlivé citlivé prvky snímacieho poľa. V súčasnej dobe majú MTS široké pole uplatnenia. Vývoj je smerovaný predovšetkým na zlepšovanie mechanických vlastností konštrukcie snímačov, zdokonaľovanie techniky spracovania signálu [2].

Zásadným problémom v súčasnej dobe je nejednotná metodika kalibrácie, čo najviac prekáža vytvoreniu jednotných postupov a následného širšieho využitia MTS. Pri styku s reálnym telesom nie je možné dosiahnuť ideálneho bodového dotyku, takže spolu s rozhodujúcim prvkom MTS sú spravidla ovplyvnené i prvkami susednými. Pri kalibrácii to spôsobuje komplikácie korelácií a kovariancií, pri použití v praxi problém s jednoznačným vyhodnotením a degradáciu skutočných možností MTS [3].

Spracovanie údajov z MTS je možné charakterizovať ako transformáciu sériového toku analógových signálov získaných jednotlivými tlakovými prvkami na digitálne údaje a ich kompresiu do formy najvhodnejšiu pre ďalšie spracovanie. V laboratórnych podmienkach sa jednotlivé činnosti koncentrujú najčastejšie do výkonného PC, ponúkajúci potrebnú vývojovú pružnosť. V reálnych podmienkach vyžadujúcich rýchlu odozvu všetkých komponentov sa musí prevažná časť údajov čo najrýchlejšie predspracovať čo najbližšie u snímača. Ďalej sa už prenášajú komprimované údaje odpovedajúce konkrétnemu použitému MTS [2].

Výstup z každého jednotlivého prvku MTS znázornený farbou prislúchajúcou tlaku pôsobiacemu na tento prvok, pričom väčšie tlaky sa obvykle zobrazujú sýtejšou farbou. Z takto vytvoreného obrazu dokáže skúsený lekár relatívne ľahko, rýchlo a spoľahlivo určiť zdravotné postihnutie pacienta [4].

Existuje mnoho fyzikálnych princípov a konštrukčných riešení MTS, lišiacich sa rozmermi, vlastnosťami a použitím [5]. Medzi najznámejšie a najčastejšie používané patrí MTS s maticou hrotov, optické MTS, piezorezistívne tenzometrické MTS,

magnetický MTS, ultrazvukový MTS, chemický MTS, MTS so zmenou dotykovej plochy, MTS s premenlivou hrúbkou elastickej vrstvy, piezorezistívny a piezoelektrický MTS, kapacitný MTS a silikónový MTS [6].

Meranie tlaku v protetike a ortotike je významné z hľadiska želaného tlakového pôsobenia pomôcky na telo pacienta. Často sa stáva, že zle vyrobená pomôcka (ortéza, protéza) vytvára neželaný tlak, ktorý je potrebné diagnostikovať a eliminovať. Pre účel diagnostiky sú využívané tenké snímače, ktoré umožňujú merať vzájomné tlakové pôsobenie dvoch objektov. V súčasnosti sa najčastejšie používajú snímače spoločnosti Tekscan (USA), Sensor Products (USA), Vista Medical (Kanada) [7]. Porovnanie komerčne dostupných snímačov je uvedené v tab. 1.

POŽIADAVKY NA SNÍMAČ TLAKU V PROTETIKE A ORTOTIKE

V protetike a ortotike sa z pohľadu snímania kontaktného tlaku využívajú najmä taktilné tlakové senzory rôznych princípov. Požiadavky na tlakové senzory používané v protetike a ortotike sú v určitej miere odlišné od požiadaviek na senzorické systémy používané v robotických, priemyselných aplikáciách.

Medzi špecifické požiadavky na maticové tlakové senzory používané v protetike a ortotike patria minimálna hrúbka pre aplikáciu do úzkych priestorov (lôžko protézy, korzety, ortézy), relatívne veľká plocha, ohybnosť, elasticita, dezinfikovateľnosť, antialergické vlastnosti.

Z hľadiska fázy aplikácie maticových tlakových senzorov rozlišujeme na fázu navrhovania a dizajnu, výrobu MTS, aplikácia MTS počas skúšania pomôcky, aplikácia počas liečebnej interakcie pomôcky s telom pacienta.

Aplikácia maticových tlakových senzorov v protetike a ortotike vo všetkých spomínaných fázach má za úlohu zrýchliť návrh a výrobu pomôcok, zautomatizovať vybrané činnosti súvisiace s biomechanikou, získavaním merných dát, ergonómiou a zvyšovaním kvality jednotlivých činností a tiež samotnej pomôcky [2].

Ideálny systém by mal byť schopný neustále monitorovať skutočné napätia v rozhraní, mal by riešiť získavanie pridružených údajov a prenos údajov.

Tab. 2 sumarizuje výsledky výskumných projektov a štúdií, ktoré sa týkajú vlastností tlakových snímačov. Náročnosť aplikácie z pohľadu dynamického rozsahu, flexibility a vzorkovacej frekvencie sa týka hlavne lôžka protézy [8].

POPIS LOKALÍT A ČINNOSTÍ PRI SNÍMANÍ TLAKU

Z hľadiska oblasti aplikácie delíme meranie s využitím maticových tlakových senzorov v protetike a ortotike na ortotické, protetické, epitetické, kalceotické, aplikácie v oblasti zubnej protetiky, rehabilitačnej medicíny a ergonómie.

V oblasti ortotiky sa maticové tlakové senzory používajú ako podpora diagnostických tlakových pomerov medzi telom a ortézou. Pomocou aplikácie maticových tlakových senzorov pri ortéze trupu (korzet) sa meria tlak medzi pelotou a telom pacienta. To umožňuje analyzovať rozloženie síl pri prvom skúšaní pomôcky, pre následnú remodeláciu, uspokojenie pre individuálne potreby pacienta, analýzu aplikácie pomôcky z biomechanického hľadiska, monitorovanie interakcie pomôcky s telom v zmysle jej aktívneho pôsobenia [2].



Obr. 1 Aplikácia MTS a fixácia korzetov [2]

Aplikácia maticových tlakových senzorov v oblasti kalceoticky zahŕňa činnosti pre liečbu ochorení chodidla, vrátane návrhu a výroby ortopedických vložiek, umožňuje študovať funkciu chodidla počas rôznych aktivít (chôdza, beh).



Obr. 2 Systém pre analýzu rozloženia tlaku pod chodidlom počas chôdze a stoja (Sensor Products).

Senzory pre meranie rozloženia plantárneho tlaku je možné sledovať systémom MTS snímajúceho tlak priamo v obuvi (F-scan System, Tekscan, USA) alebo systémom pre analýzu rozloženia tlaku pod chodidlom počas

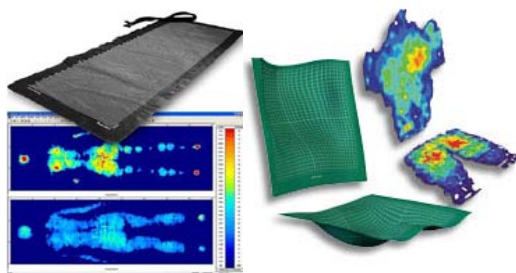
chôdze a stoja – tlakové podložky (obr.2). Najčastejšie MTS využívané v oblasti kalceotiky. sú kapacitné a rezistívne MTS.



Obr. 3 Systém MTS snímajúci tlak priamo v obuvi (Novel)

Tenký MTS umiestnený v obuvi (obr.3) zachytáva informácie o dynamickom plantárnom tlaku. Výhoda aplikácie MTS priamo do obuvi umožňuje podporiť liečbu chodidla, diagnostikovať poruchy chodidla, sledovať pôsobenie ortopedických vložiek, zvyšuje kvalitu vlastností ortopedickej obuvi. Takisto sa redukujú náklady minimalizáciou potreby ďalších ortopedických úprav. MTS napomáhajú pri porovnávaní chôdze pred a po liečbe z biomechanického hľadiska. Pomocou nich sa určuje tlaková a silová analýza počas chôdze v časových priebehoch, poloha a trajektória ťažiska v stoji a počas chôdze. Nevýhodou MTS uložených pod chodidlom (tlakové podložky) je v potrebe fixovania na dané miesto, čím dochádza k obmedzeniu merania tlaku počas rôznych aktivít priebežne.

K rehabilitačným aplikáciám MTS patrí napr. zisťovanie a analýza svalovej aktivity počas diagnostikovania pomocou magnetickej rezonancie, sila manipulačných úkonov, úchopová sila pri rehabilitačných úkonoch, cvičenie na rehabilitačných zariadeniach, sila úchopu vybraných typov adjuvatík (barle). Výhodou aplikácie MTS pre aj podpora prevencie tvorby dekubitov a biomechanická analýza, monitorovanie osoby na lôžku a osoby dlhodobo užívajúcich invalidný vozík (obr.4) [2].



Obr. 4 MTS pre meranie tlaku u dlhodobo ležiacich pacientoch (X-sensor), MTS pri meraní tlaku pri používaní invalidného vozíka (Tekscan).

MTS sa v zubnej protetike používa na zistenie sily zahryznutia, na meranie tlaku pri oklúzii, kontrolu liečebného procesu. Takisto dokážeme pomocou MTS získať informácie o správnej fixácii zubnej protézy, ortodoncii, liečbe parodontálne riadenie. Používaním MTS v zubnej protetike sa pacientovi poskytuje lepšia starostlivosť a zníži sa doba liečby (obr.5).



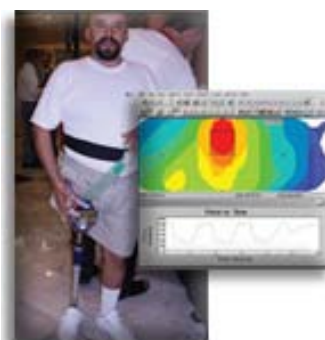
Obr. 5 Tekscan - využitie v zubnej protetike

MERANIE TLAKU V LÔŽKU PROTÉZ DOLNÝCH KONČATÍN

Meranie tlaku v lôžkach protéz si vyžaduje správnu techniku merania, vrátane použitia vhodných snímačov, ich umiestnenie v lôžku protéz, a v neposlednom rade zber dát. Ideálny systém snímania tlaku v lôžku by mal byť schopný priebežne sledovať skutočné povrchové napätia, tlak, šmyk bez zásadných zásahov do pôvodných podmienok rozhrania.

Rozoznávame dve techniky umiestnenia snímačov pri meraní tlaku v lôžku protéz.

Prvou technikou je vkladanie tenkých senzorov medzi pahýľ a lôžko (membránové snímače [9], kvapalinové snímače [10], pneumatické snímače [11], plošné obvodové snímače povrchu [12]). Výhodou tenkých senzorov je jednoduchá montáž, počas ktorej nedochádza k poškodeniu lôžka protézy. Rušenie senzorov je spôsobené hranami lôžka a konečná hrúbka po umiestnení senzorov [13]. Príliš veľký senzor meria iba priemerný tlak po celej ploche, naopak, ak je senzor príliš malý, ovplyvňujú ho okrajové účinky, k čomu dochádza hlavne pri tuhých senzoroch.



Obr. 6 F-Socket™ System (Tekscan)

Druhá technika predstavuje vkladanie do lôžka alebo cez konektor so snímacou plochou v jednej rovine s pahýľom. Táto technika vkladania si vyžaduje špeciálnu úpravu lôžka, pozostávajúcu z výroby presných otvorov na lôžku.

Spomínané techniky umožňujú meranie tlaku v kontaktných miestach. Hrúbka senzoru umiestneného medzi pahýľ a lôžko môže spôsobiť zmenu pôvodných podmienok merania. Poznáme niekoľko typov systémov určených na meranie tlaku v lôžku, ako napr. Socket Rincoe, Tekscan F-Socket, Novel Oliace 16P systém.



Obr. 7 Spôsoby meranie tlaku v lôžku protéz.

ZÁVER

Predložená prehľadová štúdia definuje MTS z hľadiska materiálového, rozmerového, ale aj z hľadiska fyzikálnych a biomechanických vlastností. Druhú polovicu článku tvoria vybrané prototypické a ortotické aplikácie maticových tlakových senzorov. Ukazuje sa, že k dôležitým vlastnostiam, pre tieto aplikácie, ako sú rozsah snímania tlaku, citlivosť a rozmery senzora patria aj parametre ako je opakovateľnosť merania, elasticita snímača, statické a dynamické parametre a pod. výhodou je možnosť bezdrôtového prenosu dát, ktorá zjednodušuje mobilitu pacienta po aplikácii MTS, ale aj samotnú aplikáciu personálom.

Literatúra

- [1] PETROVIC, SJ. et al.: Sensitivity of LPGs in PCFs Fabricated by an Electric Arc to Temperature, Strain, and External Refractive Index. *Journal of lightwave technology*, 2007. 25(5),.
- [2] HUDÁK, R.: Biomechanické meranie kontaktného tlaku v protetike a ortotike, tézy habilitačnej prednášky - 1. vyd. Košice: TU, 2012. 36 s. ISBN 978-80-553-1155-5.
- [3] HALAJ, M.: Kalibrácia piezorezistívneho maticového taktilného snímača. Dizertačná práca. Bratislava, SjF STU 2001
- [4] VOLF, J. – HOLÝ, S. – VLČEK, J.: Using of Tactile Transducer for Pressure-Distribution Measurement on the Sole of the Foot. In: *Sensors and Actuators (A)*, 1997, No. 62, s. 556-561
- [5] NAVRÁTIL, L. - ROSINA, J. a kol.: *Medicínská biofyzika*, GRADA Publishing, Praha, 2005, ISBN 80-247-1152-4
- [6] WEBSTER, J.G.: *Medical Instrumentation, Application and Design*, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1998, ISBN 0-471-15368-0
- [7] HUDÁK, R. a kol.: Aplikácia moderných diagnostických a digitalizačných systémov v protetike a ortotike, 2012. In: *Produktivita a inovácie*. Roč. 13, č. 4 (2012), s. 24-25. ISSN 1335-5961
- [8] HUDÁK, R. - PENHAKER, M. - MAJERNÍK, J.: *Biomedical Engineering - Technical Applications In Medicine: Fiber Optic-Based Pressure Sensing Surface for Skin Health Management in Prosthetic and Rehabilitation Interventions*, 1 ed. Croatia, 2012. ISBN 978-953-51-0733-0,
- [9] RAE JW. - COCKRELL, JL.: Interface pressure and stress distribution in prosthetic fitting. *Bull Prosth Res*, 1971. 10-16:64-111
- [10] VAN PIJKEREN, TV. - NAEFF, M. - KWEE, HH.: A new method for measurement of normal pressure between amputation residual limb and socket. *Bull Prosthet Res*, 1980. 17(1):31-4.,
- [11] MUELLER, SJ. - HETTINGER, T.: Measuring the pressure distribution in the socket of the prostheses. *Orthopadie - Technik Heft*, 1954. 222- 5.,
- [12] ENGSBERG, JR. - SPRINGER, MJN. - HARDER, JA.: Quantifying interface pressure in below-knee-amputee socket. *J Assoc Children's Prosthetic-Orthotic Clinics*, 1992. 27(3):81-8.,
- [13] RAJŤUKOVÁ, V.- HUDÁK, R.- ŽIVČÁK, J.: Biomedicínske aplikácie celotelového 3D skenovania, 2012. In: *Produktivita a inovácie*. Roč. 13, č. 5 (2012), s. 8-9. ISSN 1335-5961

Tento článok bol vytvorený realizáciou projektu "Centrum výskumu riadenia technických, environmentálnych a humánných rizík pre trvalý rozvoj produkcie a výrobkov v strojárstve" (ITMS:26220120060), na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Tab. 1 Porovnanie komerčne dostupných snímačov [8]

	X Sensor	FSA	Tekscan	Talley	Pressure	Novel	FBG -	Taclitus
Princíp činnosti	Kapacitný	Piezo – elektrický	Rezistívny (odporový)	Elektro - pneumatický	Pneumatický	Kapacitný	Optický	Rezistívny
Systém	Podložka na sedenie	Invalidný vozík, lôžko, obuv, ortéza	Sedadlo, obuv	Individuálne	Individuálne	Sedadlo, chodidlo,	Invalidný vozík, lôžko, ortéza	Lôžko protézy
Veľkosť senzora [m]	$2,7 \cdot 10^{-3}$ x $2,7 \cdot 10^{-3}$	Obuv $9 \cdot 10^{-3}$ x $16 \cdot 10^{-3}$	Obuv $5 \cdot 10^{-3}$ x $5 \cdot 10^{-3}$	$100 \cdot 10^{-3}$ 28. 10^{-3}	$25 \cdot 10^{-3}$ alebo $62,5 \cdot 10^{-3}$	$31 \cdot 10^{-3}$ x $47 \cdot 10^{-3}$	1 x 1	$200 \cdot 10^{-3}$ x $200 \cdot 10^{-3}$
Rýchlosť snímania [Hz]	Do 70 000	3 072	316 800	-	-	Do 20 000	-	-
Rozsah tlaku [Pa]	0 – 30 000	Obuv 0 – 200 000	Obuv 0 – 1 000 000	2 700 – 40 000	0 – 17 000	Chodidlo 0 – 240 000	Min. 400 000	100 000
Počet senzorov	2 304	Max. 1 024	Viac ako 2 000	1	1	Max. 2 304	4 alebo 8	400
Presnosť	10%	10%	$\pm 3\%$ $\pm 1\%$	$\pm 2\%$	± 400 Pa	$\pm 5\%$	-	-

Tab. 2 Špecifikácie snímača pre aplikáciu a funkcionality v porovnaní s vlastnosťami a funkčnými rozsahmi. [8].

Funkčnosť, Určený typ aktivity	Limitovaný pohyb, malá rýchlosť zaťaženia,	Mierny relatívny pohyb, mierna rýchlosť zaťaženia	Aktívny pohyb, vysoká rýchlosť,
Klinická Aplikácia	<i>Špeciálne nemocničné lôžka</i>	<i>Invalidné vozíky</i>	<i>Lôžko protézy (aktívny pohyb)</i>
Tlak [Pa]	0-40 000	0-300 000	0-1 000 000
Presnosť [Pa]	<10	<1 000	<1 000
Veľkosť snímacieho senzora [m ²]	0,0002	0,0001	0,0001
Hrúbka [m]	<0,004	<0,005	<0,005
Flexibilita [m]	0,04	0,02	0,02
Citlivosť [Pa]	5	10	10
Vzorkovacia frekvencia [Hz]	>15	>50	>400
Hysterézia	Nepatrná	Nepatrná	Nepatrná