

TRÉNOVANIE SPRÁVNEHO DÝCHANIA RÁDIOTERAPEUTICKÝCH PACIENTOV

Nicole Bedriová^{1,2}, Michal Žilavý¹, Milan Smetana¹

¹Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta elektrotechniky a informačných technológií,
Katedra teoretickej elektrotechniky a biomedicínskeho inžinierstva, Žilina

²Fakultná nemocnica s poliklinikou v Žiline, Žilina

ABSTRAKT

Príspevok opisuje návrh systému sensorického snímania dychovej krivky, ktorý je možné využívať s mobilným komunikačným zariadením s operačným systémom Android. Hrudný pás pozostáva z hardvérovej časti navrhnuťej v podobe hrudného pásu s dychovým senzom a softvérovej mobilnej aplikácie, ktorá real-time zobrazuje merané dáta. Hrudný pás je určený k využívaniu onkologickými pacientmi, ktorí počas procesu ožarovania využívajú monitorovanie dýchacej krivky. Respiratory gating patrí k inovatívnym procesom rádioterapie, ktorý využíva pokročilé, softvérom navádzané ožarovanie pacienta, predovšetkým v hlbokom inspiriu. Pacienti sa pred začiatkom ožarovacieho procesu oboznamujú s princípom správneho dýchania a učia sa zadržať dych v správnom objeme. V príspevku je prezentovaný hardvérový návrh a realizácia hrudného pásu, ktorý pomocou senzoru sníma dychovú krivku a softvérový návrh mobilnej aplikácie, ktorá slúži na zobrazenie nameraných dát. Navrhnuté riešenie bolo testované v spolupráci s Fakultnou nemocnicou s poliklinikou v Žiline na oddelení klinickej a radiačnej onkológie.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

respiratory gating, dychový senzor, hrudný pás, rádioterapia, mobilná aplikácia.

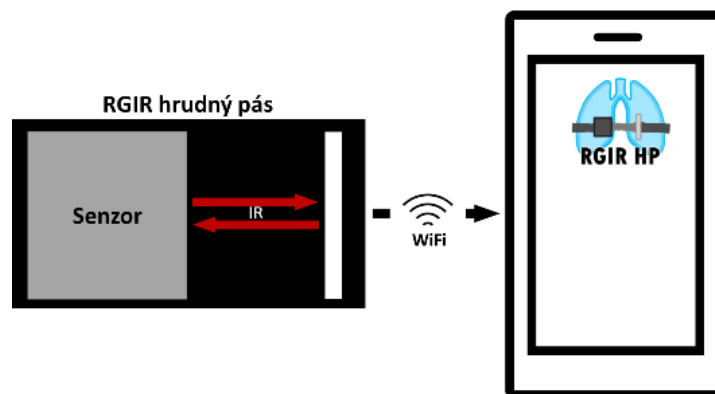
ÚVOD

V posledných rokoch sme svedkami alarmujúceho nárastu onkologických ochorení, a to nie len u starších, ale aj u mladších vekových kategórií. Podľa štúdie publikovanej v časopise The Lancet Oncology v roku 2021, počet nových prípadov zhubných nádorov u mladých ľudí vo vekovej kategórii od 15 do 39 rokov zvýšil o 30 % v období 1990 - 2019. [1] Rovnako tak na tento fakt poukazujú štatistiky svetovej zdravotníckej organizácie (WHO), kde sa medzi mladými ľuďmi počet onkologických ochorení zvýšil o 13 % v období rokov 2008 – 2020. [2] Na základe zistení je potrebné venovať sa pacientom so zámerom znížiť možné nežiaduce účinky, a to v čase pred liečbou, napríklad prostredníctvom edukácie a tréningu hlbokého nádychu. Nami navrhnutý a vyrobený senzor dýchania je možné použiť pri tréningu pacientov, ktorí podstupujú RT liečbu s využitím respiratory gatingu. [3] – [6] Respiratory gating (RG) využívaný v rádioterapii, umožňuje presnejšie ciele nádoru a minimalizuje poškodenie okolitého zdravého tkaniva, ako napríklad pľúca a srdce. [7] Na oddeleniach rádioterapie sa využívajú kamery a senzory, ktoré monitorujú dýchacie pohyby pacienta a umožňujú lekárom synchronizovať ožarované pole s fázou dýchania. [8] RG je považovaný za efektívnu techniku v rádioterapii, najmä pri

Liečbe nádorov v oblasti hrudníka a brucha, kde sa nachádza mnoho pohyblivých orgánov. [9] Avšak pacient sa s RG stretáva až na vyšetrovacom stole, kedy vznikajú stresové situácie pre pacienta a často nie je možné liečbu uskutočniť. Práve v tejto oblasti vznikol priestor, kedy je potrebné pacientov na liečbu pripraviť, a to edukáciou a následným tréňovaním dýchania pomocou navrhnutého dýchacieho senzoru. V praxi pri využívaní RG často vznikajú problémy nedostatočnej výdrže v hlbokom nádychu, nemožnosť dosiahnuť dostatočné naplnenie objemu pľúc alebo zrýchlené dýchanie. Praktické skúsenosti nám ukázali priestor, kedy je potrebné edukovať pacientov prostredníctvom zobrazenia ich vlastnej dychovej krivky a názornom vysvetlení dýchacích techník do brucha a do hrudníka. Príspevok popisuje návrh a implementáciu real-time snímania dychovej krivky pacienta vo forme hrudného pásu so senzorom prepojeným s mobilnou aplikáciou. Vykonali sme dôkladnú teoretickú rešerš jednotlivých senzorov, ktoré je možné využiť v problematike RG. Na základe rešerše sme vybrali senzor využívajúci IR žiarenie, pretože jeho parametre spĺňali nami stanovené kritéria (rýchlosť získania dát, jednoduchosť použitia, finančná nenáročnosť a ďalšie). [10] – [14] Návrh senzora je založený na analógovom front-end riešení, snažili sme sa zabezpečiť dostatočnú spoľahlivosť zaznamenávania dychovej krivky, nízke náklady realizácie a možnosť zariadenia aplikácie do domáceho používania. Hlavným aspektom pre mobilnú aplikáciu bola jednoduchosť používania pre pacientov v rôznych vekových kategóriách. Súčasťou príspevku je analýza výsledkov série experimentov zameraných na vyhodnotenie efektivity tréňovania dýchania a zadržania dychu pacientov.

MATERIÁLY A METÓDY

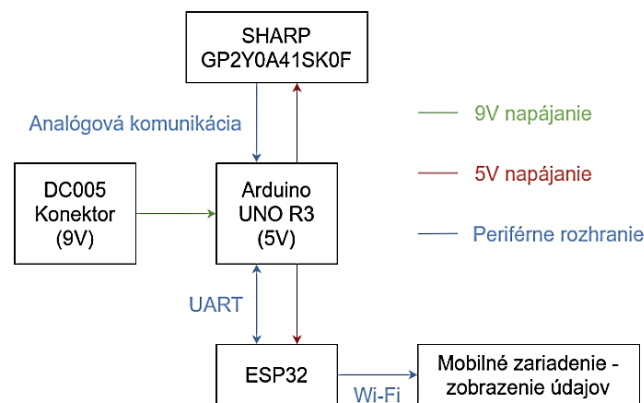
Koncepcia vytvoreného RGIR hrudného pásu je zobrazená na Obrázku 1. Systém sa skladá z hrudného pásu s IR senzorom a smartfónu s operačným systémom Android. Hrudný pás prostredníctvom WiFi signálu odosiela namerané dáta do mobilného zariadenia.



Obrázok 1 Koncepcia RGIR hrudného pásu a mobilného zariadenia s aplikáciou

HARDVÉROVÝ NÁVRH ZARIADENIA

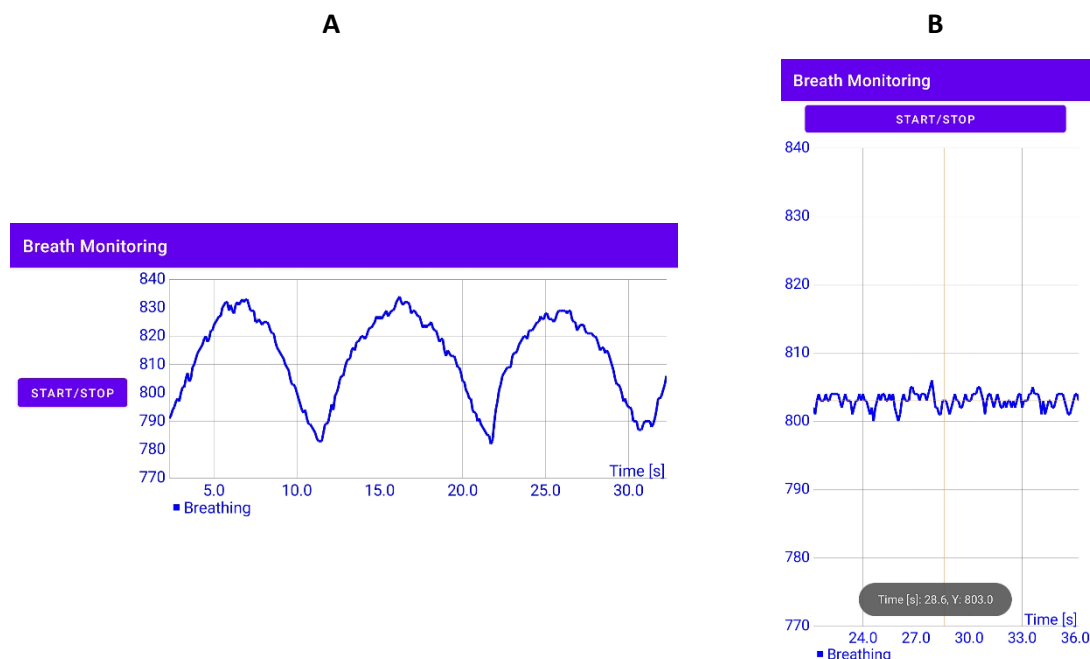
Základnou požiadavkou na senzor bola čo najnižšia hardvérová zložitosť a finančná náročnosť. Bloková schéma návrhu RGIR hrudného pásu je znázornená na Obrázku 2. RGIR využíva spôsob napájania pomocou DC005 konektora na Arduine, z 9 V batérie typu 6LR61. Arduino následne napája 5 V IR senzor vzdialenosti SHARP a vývojovú dosku ESP32. Z IR senzora SHARP Arduino získava analógové dáta vo forme napätia, ktoré spracuje pomocou analógovo digitálneho prevodníka. Spracované dáta sú následne sériovou komunikáciou odoslané na vývojovú dosku ESP32, ktorá pomocou WiFi siete odosiela získané dáta do mobilného zariadenia, kde sú zobrazované vo forme grafu.



Obrázok 2 Bloková schéma návrhu RGIR hrudného pásu

NÁVRH SOFTVÉROVEJ APLIKÁCIE

Mobilná aplikácia pod názvom RGIR HP je navrhnutá a vytvorená pre smartfóny s operačným systémom Android. Minimálna verzia systému Android je 8.0, pri úrovni API 26. Hlavnou funkciou softvérovej aplikácie je spracovanie získaných dát z hrudného pásu a ich následne zobrazenie v grafickej podobe v reálnom čase. Zároveň sa získané dáta ukladajú do arraylistu v aplikácii vo forme 10 bitového čísla. Dáta je možné následne spracovať a vyhodnotiť pokrok pacienta v nácviku dýchania. Prístup k aplikácii majú pacienti prostredníctvom webového odkazu a na používanie nie je potrebná registrácia. Mobilná aplikácia sa spustí automaticky po kliknutí na ikonu aplikácie na obrazovke smartfónu. Používateľovi sa automaticky zobrazí hlavná obrazovka, s oznamom, že aplikácia neobsahuje žiadne dáta. Následne po prepojení aplikácie s hrudným pásom sa zobrazí graf, ktorý v reálnom čase vykresľuje zaznamenané dáta, a teda krivku dýchania pacienta (Obrázok 3A). Na Obrázku 3B sa nachádza obrazovka s možnosťou zobrazenia vybraných koordinátov nameraných dát v bode.



Obrázok 3 Zobrazenie obrazovky mobilnej aplikácie RHIR HP A. horizontálny mód, B. vertikálny mód

METODIKA TESTOVANIA

Hrudný pás RGIR sme pred testovaním na vybranej vzorke pacientov nastavili na základe nami stanovených vzdialeností minimálneho a maximálneho rozsahu natiahnutia hrudného pásu, s postupným inkrementovaním vzdialenosti o 1 cm. Zmenu vzdialenosti umožňuje pružná textília, ktorá je súčasťou hrudného pásu. Namerané hodnoty sme zapísali do Tabuľky 1. Namerané hodnoty nám slúžili na správne nastavenie rozsahu grafického znázornenia získanej nameranej krivky.

Tabuľka 1 Získané hodnoty meraní použité k správne mu zobrazeniu dát v mobilnej aplikácii

Vzdialenosť IR senzora SHARP od plochy odrážania [cm]	7	8	9	10	11	12
Nameraná hodnota odrazeného lúča, IR senzorom SHARP	713	745	782	806	820	833

Po správnom nastavení prenosu dát sme hrudný pás RGIR s mobilnou aplikáciou RGIR HP testovali na vzorke onkologických pacientov z Fakultnej nemocnice v Žiline a zároveň sme výsledky porovnávali s netrénovanými pacientmi a pacientmi trénovanými RG certifikovanou sústavou, ktorá je inštalovaná na oddelení klinickej a radiačnej onkológie (OKaRO). Podstatou tréovania pacientov s RGIR hrudným pásom bolo, že zdravotnícky personál oddelenia (lekár, radiačný technik a fyzik) vysvetlil pacientom akým spôsobom bude prebiehať liečba. Následne sme pacientovi vysvetlili správne nastavenie hrudného pásu a používanie mobilnej aplikácie. Pacienti s nami tréovali dýchanie (výdrž v hlbokom nádychu, nádych do brucha, nádych do hrudníka) a následne mali zapožičané zariadenie, k domácomu testovaniu, na jeden týždeň. Trénovaní pacienti so systémom OKaRO tréovali s personálom určitú dobu, ktorá bola individuálne závislá od pacienta a následne po usúdení personálu sa vykonala CT simulácia. Postup pri kontrolnej vzorke pacientov bol overený z dlhodobého procesu ožarovania na OKaRO, a teda poukazoval na aktuálnu prax. Klasický postup bol, že lekár pacientovi vysvetlil aká technika bude využívaná pri jeho liečbe a následne vykonali pacientovi simulačné CT. Počas tréovania dýchania sme pacientov inštruovali k pokojnému dýchaniu, k zadržaniu dychu v maximálnom nádychu a v maximálnom výdychu. Na základe získaných kriviek sme pacientom vysvetľovali princípy správneho dýchania, ktoré využívame pri personalizovanej RT liečbe.

VÝSLEDKY

Na základe porovnania troch skupín pacientov (každá skupina bola tvorená 3 pacientmi, z toho dvaja pacienti mali onkologické ochorenie prsníka a jeden metastázy v pečeni), trénovaných s RGIR hrudným pásom, trénovaných so systémom na OKaRO a netrénovaných sme zistili, že pacienti, ktorí mali prístup k RGIR hrudnému pásu dokázali lepšie spolupracovať pri CT simulácií a zároveň dokázali dlhšie zadržať dych, v prípade využitia DIBH techniky v RG metóde. V prípade netrénovanej vzorky pacientov sme pozorovali, že čas vyšetrenia sa predlžoval a pacienti počas testovania vyjadrili pocit strachu a stresu z nepoznanej situácie. Trénovaná vzorka pacientov pomocou OKaRO systému poukazovala zlepšenie v mnohých testovaných bodoch oproti netrénovaným pacientom, avšak tréovanie pacientov v konečnom dôsledku zabralo personálu viac času ako netrénovanej vzorke. Týždenné tréovanie v domácom prostredí poukázalo na zlepšenie pocitov pacientov z vykonávaného vyšetrenia a v priemere sa vyšetrovací čas zlepšil o 10 minút v porovnaní s netrénovanými pacientmi (Tabuľka 2).

Tabuľka 2 Priemerný čas CT simulácie na základe techniky tréningu hlbokého nádychu s pacientom

Technika tréningu dýchania	Priemerný čas CT simulácie [min]
RGIR v domácom prostredí	15
Netréning dýchania	25
Edukácia pomocou slovnej navigácie RG - OKaRO	22

Tabuľka 3 popisuje priemernú výdrž pacientov v hlbokom nádychu na základe zvolenej techniky tréningu. Pacienti, ktorí trénovali s RGIR hrudným pásom dokázali v priemere zadržať dych o 7 sekúnd dlhšie v porovnaní s meraniami pred začiatkom tréningu doma. Pri skupine, ktorá trénovala v priemere 5 – 10 minút sme zaznamenali minimálne zlepšenie výdrže v hlbokom nádychu. Pacient 6 mal dokonca zhoršenú výdrž. Pacient 6 uvádzal, že po tréningu sa cíti unavený a nevládze opätovne zadržať dych.

Tabuľka 3 Vyhodnotenie zadržania dychu v hlbokom nádychu na základe techniky tréningu pacienta

Pacienti	Priemerný čas zadržania dychu pred tréningom [s]	Priemerný čas zadržania dychu po tréningu [s]
Tréningová skupina s RGIR (1 týždeň tréningu)		
Pacient 1	18	25
Pacient 2	23	31
Pacient 3	20	26
Tréningová skupina s RG - OKaRO (5-10minút tréningu)		
Pacient 4	22	24
Pacient 5	28	30
Pacient 6	19	17

ZÁVER

Príspevok predstavuje hardvérový návrh dychového senzoru v podobe hrudného pásu, ktorý zobrazuje zaznamenané dáta v softvérovej časti – aplikácia, v mobilnom komunikačnom zariadení s operačným systémom Android. Vytvorený RGIR hrudný pás je určený na tréning dýchania onkologických pacientov, ktorí v procese rádioterapeutickej liečby využívajú ožarovanie na základe monitorovania dychu. Vyvinutý RGIR hrudný pás je cenovo dostupné riešenie, ktoré dokáže real-time zobrazíť dychovú krivku v nemocničnom, ale aj domácom prostredí. Navrhnuté riešenie je vhodné na krátkodobý tréning pacientov pred zahájením rádioterapeutickej liečby. Riešenie prináša skrátenie trvania procesu CT simulácie a následného rádioterapeutického ožarovania s využitím monitorovania dychu pri onkologických pacientoch.

LITERATÚRA

- [1] FIDLER, Mirinda, SOERJOMATRAM, Isabelle a BRAY, Freddie. The Global Cancer Burden in Young Adults: a-based Study of Incidence, mortality, and disability-adjusted Life-years. *The Lancet Oncology*. Roč. 4 (2021), č. 22, s. 525-536.
- [2] World Health Organization. 2021 [online]. Global Cancer Observatory: Cancer Today. International Agency for Research on Cancer. [Cit. 02.04.2023]. Dostupné z <https://gco.iarc.fr/today>.
- [3] HALPERIN, Edward C, at al. Perez & Brady's Principles and Practice of Radiation Oncology. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2018. ISBN 978-1496386793.
- [4] MURSHED, Hasan. Fundamentals of Radiation Oncology. Oxford: Elsevier, 2019. ISBN 978-0-12-814128-1
- [5] WIEDEMANN, Helmut. Particle Accelerator Physics 3rd Edition. s.l.: Springer, 2007. ISBN 978-3540490432.
- [6] ZHANG, Yin, DING, Kai a COWAN, Gartg. Alignment of multiradiation isocenters for megavoltage photon beam. 6, s.l.: *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 2015, Zv. 16. DOI: 10.1120/jacmp.v16i6.5733.
- [7] GIRAUD, Philippe a HOULE, Annie. Respiratory Gating for Radiotherapy: Main Technical Aspects and Clinical Benefits. *International Scholarly Research Notices Pulmonology*: Hindawi Publishing Corporation. (2013), č. 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/519602>.
- [8] ŠLAMPA, Pavel a kol. *Radiační onkologie*. Praha: Maxdorf, 2021. ISBN 978-80-7345-674-0.
- [9] HUGO, Geoffrey D. a MURPHY, Martin J. Adaptive Motion Compensation in Radiotherapy. Boca Raton: CRC Press, 2012. ISBN 9780429193484.
- [10] KUMAR Jha, R. Non-Dispersive Infrared Gas Sensing Technology: A Review. [online]. 2022. [cit. 29.11.2022] Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9624946>. DOI:10.1109/JSEN.2021.3130034
- [11] JHA, X. On-Chip Non-Dispersive Infrared CO2 Sensor Based on an Integrating Cylinder. [online]. 2019. [cit. 29.11.2022] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/336173057_On-Chip_Non-Dispersive_Infrared_CO2_Sensor_Based_On_an_Integrating_Cylinder DOI:10.3390/s19194260
- [12] BAKES, S., XIANG, W., ATKINSON, M. I. Determining Respiratory Rate from Photoplethysmogram and Electrocardiogram Signals Using Respiratory Quality Indices and Neural Networks. [online]. 2021. [cit. 20.04.2023] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/350741040_Determining_respiratory_rate_from_photoplethysmogram_and_electrocardiogram_signals_using_respiratory_quality_indices_and_neural_networks.
- [13] GRILICA, Josip, MARTINOVIĆ, Toni, ĐŽAPO, Hrvoje. Capacitive Sensor for Respiration Monitoring. [online]. 2015. [cit. 10.04.2022] Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7133567> DOI: 10.1109/SAS.2015.7133567
- [14] ALI, Mohamed, et al. Contact and Remote Breathing Rate Monitoring Techniques: A Review. [online]. 2021. [cit. 13.04.2022] Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8769001/>