

SOUBORNÝ REFERÁT

Neinvazivní monitoring vitálních funkcí u novorozence

Noninvasive monitoring of vital signs of the newborn

Hana Burčková^{1,2}, Hana Wiedermannová^{1,2}, Jakub Čubík³, Stanislav Kepák³, Jan Pavlíček^{2,4,5}

¹Oddělení neonatologie,
FN Ostrava

²Lékařská fakulta,
Ostravská Univerzita, Ostrava

³Fakulta elektrotechniky
a informatiky,
VŠB – Technická univerzita,
Ostrava

⁴Klinika dětského lékařství,
FN Ostrava

⁵Centrum biomedicínského
výzkumu, FN Hradec Králové

SOUHRN

Burčková H, Wiedermannová H, Čubík J, Kepák S, Pavlíček J. Neinvazivní monitoring vitálních funkcí u novorozence

Monitoring vitálních funkcí je nezbytnou a důležitou součástí péče o novorozence na všech typech oddělení neonatologie. Mezi základní sledované parametry patří srdeční akce, dechová frekvence a saturace hemoglobinu kyslíkem. Monitorovací metody se dělí na invazivní a neinvazivní, ty dále na bezdotykové a v praxi více rozšířené dotykové metody. Přehledový článek představuje standardní i méně standardní metody neinvazivního měření vitálních funkcí u novorozenců. V závěru článku autoři prezentují experimentální systém zahrnující senzorickou podložku se zabudovaným optickým vláknem pro snímání srdeční a dechové frekvence novorozence, vyvíjenou ve spolupráci s vědci Technické univerzity v Ostravě.

Klíčová slova: neinvazivní monitoring, vitální funkce, neonatologie

SUMMARY

Burčková H, Wiedermannová H, Čubík J, Kepák S, Pavlíček J. Noninvasive monitoring of vital signs of the newborn

Monitoring of vital signs is an essential and important part of the care for newborns in all types of neonatology departments. The basic monitored parameters include heart rate, respiratory rate, and peripheral blood oxygen saturation. Monitoring methods can be classified to invasive and non-invasive, the latter further into contactless and (more widespread in practice) contact methods. The review article presents standard as well as less common standard methods of non-invasive measurement of neonatal vital signs. At the end of the article, the authors present an experimental system including a sensory pad with a built-in optical fiber for sensing the heart and respiratory rate of a newborn developed in cooperation with scientists of the Technical University of Ostrava.

Key words: noninvasive monitoring, vital signs, neonatology

Práce je podpořena grantem
Ministerstva zdravotnictví
České republiky –
RVO-FNOs/2019.

Korespondenční adresa:

doc. MUDr. Jan Pavlíček, Ph.D.
Klinika dětského lékařství FN Ostrava
Tř. 17. listopadu 1789
708 52 Ostrava-Poruba
jan.pavlicek@fno.cz

ÚVOD

Monitoring vitálních funkcí je nedílnou součástí péče na všech odděleních intenzivní, intermediární nebo primární péče pro novorozence. Mezi nejčastěji měřené parametry patří srdeční akce, dechová frekvence a saturace hemoglobinu kyslíkem. Přes možnost invazivního měření zavedenými katétry je u většiny hospitalizovaných pacientů prováděn neinvazivní monitoring. Neinvazivní snímání vitálních funkcí se běžně provádí pomocí elektrod nebo čidel, která jsou

přípevněna na kůži novorozence. I neinvazivní monitoring, přes jeho jasné indikace a nezbytnost, může mít své nežádoucí účinky. Samotný monitoring může u novorozence vyvolávat stres, u převážně nezralých novorozenců se zvyšuje riziko infekce poškozením kůže při měnění umístění elektrod nebo čidel jako prevence kožního poškození.^(1,2)

Neinvazivní monitoring vitálních funkcí je možno obecně rozdělit na dotykový a bezdotykový.

Tab. 1: **Neinvasivní metody pro monitoring vitálních funkcí novorozence**

Vitální funkce	Dotykové monitorovací metody	Bezdotykové monitorovací metody
Srdeční frekvence	Stetoskop	Dopplerovská laserová vibrometrie
	Palpace pulzace periferních arterií	Vzdálená fotopletysmografie
	Elektrokardiografie	Piezoelektrické senzory
	Elektrická velocimetrie	Infračervená termografie
	Fotopletysmografie	Dynamický rozptyl světla
	Transkutánní elektromyografie bránice	
	Pulzní oxymetr	
	Digitální stetoskop	
Dechová frekvence	Stetoskop	Hodnocení pohledem
	Průtokový senzor	Vzdálená fotopletysmografie
	Hrudní impedance	Infračervená kamera
	Fotopletysmografie	Dopplerovská laserová vibrometrie
	Termistor (teplotní čidlo)	Radarové techniky
	Transkutánní elektromyografie bránice	RGB kamery
		Piezoelektrické senzory
Saturace hemoglobinu kyslíkem		Monitorovací podložky s tlakovými senzory
	Pulzní oxymetr	Digitální videokamera
	Transkutánní monitoring krevních plynů	

U dotykových metod je nevýhodou nutnost manipulace s novorozencem. Každá taková manipulace, zejména s rizikovými kategoriemi novorozenců, zvyšuje spotřebu energie a nároky na kyslík. S každou manipulací zároveň roste i riziko nozokomiálních infekcí. Opakované vyrušování nezralého novorozence může negativně ovlivnit jeho cirkadiální rytmus, včetně spánkového vzorce, to pak může vést ke zkrácení periody hlubokého spánku. Vystavení hluku monitorovacích zařízení a jejich alarmů, včetně zvuku opakovaného otevírání nebo zavírání inkubátoru, může způsobit opožděný vývoj řeči vinou retrokochleární a senzorineurální ztráty sluchu. Zvýšená perfuze mozkem a nežádoucí výkyvy tlaku mohou být důsledkem častých čichových vjemů novorozence například při opakovaném používání dezinfekce.⁽¹⁾

Z pohledu metodiky je celosvětově uznávaným zlatým standardem pro měření srdeční akce elektrokardiografie (EKG).^(3–6) Pro kontinuální měření saturace hemoglobinu kyslíkem a zároveň i srdeční akce je používán pulzní oxymetr.⁽⁷⁾ Monitoring dechové frekvence je nejméně zaznamenávanou jednotkou pro trvalý nedostatek monitorovacích zařízení.⁽²⁾ Nejpožívanějším možným zařízením k měření dechové frekvence je průtokový senzor, který je však dlouhodobě špatně tolerovaný u spontánně ventilujících novorozenců. Proto se ke sledování dechové frekvence nejčastěji využívá měření odporu hrudníku ze signálů získaných z EKG elektrod.^(8,9) Ke sledování dechových pohybů je možno v nemocničním i v domácím prostředí použít monitorovací bezdotykové podložky v indikaci prevence apnoe a syndromu náhlého úmrtí kojence (sudden infant death syndrome, SIDS).

Pro výše uvedené nevýhody dotykových měření je v posledních letech v neonatologii v popředí vývoj bezdotykových metod, který je v celkovém souladu s trendy „minimal handling“ péče o rizikové novorozence. Základní rozdělení jednotlivých metod u nejčastěji monitorovaných funkcí v neonatologii představuje tabulka 1.

Cílem této přehledové práce je představení jednotlivých neinvasivních metod pro měření základních vitálních funkcí novorozence na oddělení neonatologie. Vyjma nejčastěji uplatňovaných metod práce dokumentuje i metody méně časté a v závěru review autoři představují experimentální systém zahrnující senzorickou podložku se zabudovaným optickým vláknem pro snímání srdeční a dechové frekvence novorozence vyvíjenou ve spolupráci s vědci z Technické univerzity v Ostravě. Studie zatím podstoupila animální část a po vyhodnocení dat by měla následovat část klinická.

NEINVAZIVNÍ MONITORING SRDEČNÍ AKCE V NEONATOLOGII

Srdeční akce se v novorozeneckém věku pohybuje v rozmezí 70–170/min.⁽¹⁰⁾ Tachykardií označujeme srdeční frekvenci nad 160/min u donošených novorozenců a u nedonošených nad 180/min. Mezi základní příčiny tachykardie patří bolest, anemie, šok, sepe, otevřená tepenná dučej, hypertyreóza nebo hypovolemie a febrilie. Srdeční frekvenci pod 80/min u donošených a pod 100/min u nedonošených novorozenců nazýváme bradykardií. Bradykardií může novorezenec reagovat při odsávání dýchacích cest nebo při sondování. Dalšími příčinami zpomalené akce srdeční může být hypoxie,



Obr. 1: Monitor
srdeční frekvence
s EKG křivkou,
umístění elektrod

apnoická pauza, intrakraniální krvácení, závažná hypotermie, hyperkalemie, hydrocephalus a další.⁽¹¹⁾

Základním srdečním rytmem u novorozenců je rytmus sinusový. V důsledku abnormálního vzniku či vedení vzruchu v srdci dochází k poruše srdečního rytmu. Arytmie dělíme na bradydysrytmie a tachydysrytmie. Nejčastější dysrytmii v novorozeneckém věku je paroxysmální supraventrikulární tachykardie s tepovou frekvencí 200–300/min.⁽¹⁰⁾ Mezi další tachydysrytmie řadíme supraventrikulární extrasystoly, flutter síní, junkční ektopickou tachykardii aj.⁽¹¹⁾ Bradydysrytmie vznikají zpomaleným vedením v atrioventrikulárním (AV) uzlu. AV blokády se pojí s některými srdečními vadami (defekt síňového septa, korigovaná transpozice velkých cév), dále při myokarditidě či předávkování digoxinem. Závažná bradydysrytmie s frekvencí komor pod 60/min vzniká při kompletní blokádě v AV uzlu v důsledku imunologického onemocnění matky, po kardiokirurgických operacích nebo při infekčním onemocnění srdce.⁽¹¹⁾

Základní vyšetřovací techniky, jako je poslech hrudníku a palpace pulzací periferních arterií, patří k rutinnímu hodnocení srdeční akce.⁽⁵⁾ K poslechu slouží tradičně stetoskop, který vyvinul Laennec v roce 1819.⁽¹²⁾

EKG za použití 4–12 elektrod připevněných na předem určená místa na těle novorozence (hrudník, končetiny) snímá srdeční frekvenci i rytmus.⁽⁶⁾ Srdeční frekvence se při tomto typu monitoringu určuje na základě počtu QRS komplexů za minutu, současnou výhodou je zobrazení křivky

a dle vztahu vlny P a QRS komplexu detekce sinusového nebo patologického rytmu (obr. 1).

Pulzní oxymetr, který je primárně určen k měření saturace hemoglobinu kyslíkem, se současně používá ke kontinuálnímu měření srdeční akce (obr. 2). Naměřená srdeční frekvence je určena kolísáním objemu krve v arteriích vlivem srdeční činnosti.⁽⁸⁾ Bližší popis této metodiky je uveden níže.

Elektrická velocimetrie je neinvazivní metoda sloužící ke kontinuálnímu monitorování srdečního výdeje a zároveň i srdeční akce, která je srovnatelná s naměřenou hodnotou při EKG. Také využívá techniku čtyř elektrod. Kvalitu snímání může negativně ovlivnit pohyb dítěte.⁽⁴⁾

Digitální stetoskop je uživatelsky velmi jednoduché zařízení vybavené světelnou signalizací k určení srdeční frekvence.⁽⁴⁾

Dopplerovská laserová vibrometrie je bezkontaktní metoda, kdy laser je umístěn blízko hrudní stěny v oblasti levé bradavky dítěte a trvale snímá jak srdeční, tak i dechovou frekvenci. Vychází z předpokladu, že pohyby povrchu kůže snímané přístrojem jsou důsledkem mechanických vibrací přenášejících na kůži srdečními stahy souvisejícími s elektrickou aktivitou srdce.⁽⁶⁾ Vyhodnocení srdeční akce dobře koreluje s hodnotami měřenými pomocí EKG.⁽⁴⁾ Průchod laserového signálu přes stěnu inkubátoru negativně neovlivňuje výsledky měření.

Fotopletysmografie (PPG) je optická měřicí technika založená na snímání změn zbarvení kůže dle perfuze související se srdeční frekvencí. Senzor skládající se z jednotlivých světelných diod umístěných na kůži novorozence vysílá světlo a měří intenzitu odraženého a prošlého světla. Absorpce světla souvisí s proměnlivým objemem krve v kapilárách, malých arteriích a žilách kůže vyskytujícími se při každém srdečním tepu a dýchání. Vzdálená PPG je založena na obdobném principu jako klasická dotyková PPG, k měření využívá kameru, která je umístěna mimo inkubátor.⁽¹⁾ Na principu PPG bylo vyvinuto i bezdrátové monitorovací zařízení připevněné na čepici (fhPPG) k lepšímu snímání srdeční akce novorozence na porodním sále při pozdním podvazu pupečníku. Na jednotkách intenzivní péče lze toto využít u novorozenců, kteří nevyžadují fixaci komponent ventilačních okruhů na čepici.⁽¹³⁾

Transkutánní elektromyografie bránice (DEMG, derived electromyography) se využívá k monitoraci srdeční



Obr. 2: Pulzní oxymetr, umístění senzoru

i dechové frekvence a zároveň i změn aktivity bránice. Měření se provádí za pomoci tří elektrod. Dvě z nich jsou připevněny v oblasti kostofrenického úhlu v linii bradavek a třetí na sternu dítěte. Srdeční frekvence je hodnocena pomocí QRS komplexů získaných z DEMG signálu.⁽¹⁴⁾ Ve srovnání se standardním EKG vykazuje hodnocení srdeční frekvence použitím DEMG vysokou shodu.⁽¹⁵⁾

Piezelektrické neboli tlakové snímací senzory (PZT) se řadí do skupiny bezdotykových technik k měření vitálních funkcí novorozence. Senzory jsou vloženy do malé tenké pružné plastové desky, která je umístěna pod pokrývkou matrace v postýlce či inkubátoru. V desce je mnoho otvorů, které zachovávají prodyšnost a odvádí vlhkost z pokrývky matrace, tím chrání novorozence od proleženin. PZT senzory pasivně snímají a vyhodnocují akustické vibrace jednotlivých srdečních úderů. Zvuky související s ventilací, především při vysokofrekvenční ventilaci, negativně ovlivňuje měření pomocí PZT senzorů. Slouží spíše k jednoduchému monitorování kardiopulsačních funkcí zdravých novorozenců, kteří nevyžadují plný EKG monitoring.⁽¹²⁾

Infračervená termografie neboli termovizní snímání patří mezi bezkontaktní způsoby měření jak srdeční, tak i dechové frekvence. Jedná se o pasivní snímání vitálních funkcí v úplné tmě. Nevyžaduje žádné aktivní osvětlení, což je šetrné především pro nezralé novorozence.⁽²⁾

Dynamický rozptyl světla (DLS) je nová neinvazivní optická metoda určená pro měření hemodynamických parametrů, jako je průtok krve, včetně srdeční frekvence. Vzhledem k malé velikosti snímacího senzoru je vhodná i pro nezralé novorozence. Pohyb hemoglobinu se detekuje pomocí laserové diody, která vysílá úzký světelný paprsek. Světlo se rozptyluje od pohybujícího se hemoglobinu a vytváří časově proměnlivý skvrnitý vzor. Skvrnitý vzor se analyzuje v reálném čase a poskytuje informace o rychlosti a množství hemoglobinu, které převádí do pulzatilní vlny. Na tomto principu detekuje i srdeční frekvenci. Nejvhodnější místo pro snímání je čelo novorozence, při snímání břicha či hrudníku mohou být dechové pohyby vyhodnoceny jako srdeční úder. Ve srovnání s EKG či pulzním oxymetrem vykazuje DLS nižší hodnoty naměřené srdeční frekvence.⁽¹⁶⁾

NEINVAZIVNÍ MONITORING DECHOVÉ FREKVENCE V NEONATOLOGII

Normální dechová frekvence novorozence je 40–60 dechů/min.⁽¹⁷⁾ Zpomalené dýchání (bradypnoe) se v novorozeneckém věku vyskytuje zřídka. Časně po narození může souviset s abúzem drog u matky. Zároveň i některé léky užívané na jednotkách intenzivní péče mohou ve zvýšených dávkách působit útlum dechového centra novorozence a způsobit zástavu dechu (fenobarbital, opiáty, opioidy, methyloxantiny atd.). Bradypnoe může být příznakem poškození centrálního nervového systému (CNS) novorozence např. po hypoxicko-ischémickém inzultu nebo jako příznak neuromuskulárních onemocnění.⁽¹⁸⁾ Zrychlené dýchání nad 60 dechů/min (tachypnoe) se v novorozeneckém věku vyskytuje mnohem častěji.

Tachypnoe v novorozeneckém věku má širokou diferenciální diagnostiku. Může být příznakem časně i pozdní infekce novorozence, přechodné tachypnoe, pneumonie, aspirace mekonia, respiračního distress syndromu, pneumothoraxu, pneumomediastinu, perzistující plicní hypertenze, vrozených srdečních vad, perinatální hypoxie či poruch CNS.⁽¹⁷⁾

Monitoring dechové frekvence novorozence patří k nejméně sledovanému a zaznamenávanému parametru vitálních funkcí. Příčinou je nedostatek a nedokonalost monitorovacích zařízení. Základní vyšetření dechové frekvence novorozence je pohledem, kdy hodnotíme dechové pohyby hrudníku a poslechem dýchacích šelestů stetoskopem.

Průtokový senzor, který je součástí ventilačních okruhů, je zlatým standardem měření dechové frekvence především u ventilovaných pacientů.⁽⁹⁾ Dechová frekvence je vyhodnocena na základě proudění vzduchu při nádechu a výdechu dítěte. U spontánně dýchajících novorozenců je toto měření dlouhodobě špatně tolerováno kvůli masce, kterou má novorozenec připevněnou přes ústa, anebo i nos. Využívají se i lépe tolerované cirkulární snímací pásy monitorující dechové úsilí.

Hrudní impedance, celosvětově nejužívanější metoda k měření dechové frekvence, získává signál z EKG elektrod.⁽⁸⁾ Princip měření je založený na rozdílu odporu vzduchu a tkání. Elektrody snímají zvýšení odporu při nádechu, kdy se v těle mění poměr vzduchu ke tkáním. Hodnotí jen dechové úsilí, nikoliv jednotlivé dechové objemy.

Pletysmografický přístroj složený ze dvou ohebných pásků připevněných kolem břicha a v oblasti žeber reaguje na změny objemu hrudníku či břicha při dechových exkurzích. Monitorování dechových objemů je závislé na poloze dítěte a jeho bdělosti.⁽⁷⁾ Vzdálená PPG prostřednictvím RGB kamery umístěné mimo inkubátor snímá pohyby hrudníku a břicha novorozence.⁽³⁾ Tato technologie je založena na detekci změn optických vlastností procházejícího a odraženého světla od kůže. Vyžaduje optický zdroj pro osvětlení a detektor pro zjištění absorpce a odrazivosti světla. Pro detekci signálu dýchání je nejvhodnější hodnotit změny optických vlastností červené, zelené a modré složky světla.⁽¹⁹⁾

Termistor (teplotní čidlo) měří dechovou frekvenci na principu změn teploty vdechovaného a vydechovaného vzduchu. Senzor je zabudovaný do výdechové větve ventilačního okruhu. Reaguje na zvýšení teploty vydechovaného vzduchu oproti vdechovanému.⁽⁷⁾ Dále může být teplotní senzor fixovaný nad horním rtem těsně před nosními dírkami. Nevýhodou je možná obstrukce horních cest dýchacích novorozence.⁽²⁰⁾

Infračervená (termovizní) kamera s dlouhými vlnovými délkami je další možností monitorace dechové aktivity. Je obvykle umístěna přibližně dva metry od pacienta. Termovize je bezdotyková a zobrazuje rozdíly teplot pozorovaného objektu na základě vlnových délek elektromagnetického pole, které daný objekt vyzařuje.⁽²⁾ Detekuje dvoufázový teplotní signál na základě radiační a konvekční složky přenosu tepla během dechového cyklu. U novorozenců však pozoruje velmi malé teplotní rozdíly v oblasti nosu oproti dospělým, což souvisí s jejich malým dechovým objemem. Nepřináší žádné informace o kvalitě dechového vzorce. Dechová frekvence je

však velmi blízká hodnotám získaným prostřednictvím EKG elektrod.⁽²⁰⁾

Dopplerovská laserová vibrometrie hodnotí současně srdeční i dechovou frekvenci, viz výše. Mechanické pohyby hrudníku spojené s dechovým úsilím odráží vibrační signál pro dýchání, který přístroj zaznamenává. Vyazuje jen nepatrné odchylky měření dechové frekvence ve srovnání s hrudní impedancí.⁽⁶⁾

DEMG se využívá k monitoraci srdeční i dechové frekvence, která je hodnocena na podkladě aktivity bránice.^(14,15) Na základě těchto změn lze hodnotit dechové úsilí novorozence např. po změně typu dechové podpory. Ve srovnání s monitorováním dechové frekvence prostřednictvím hrudní impedance je měření pomocí DEMG méně přesné a vykazuje větší variabilitu.

PZT senzory pasivně detekují akustické vibrace dýchacích pohybů a převádí je na elektrický signál, dle kterého je vypočtena dechová frekvence. Zhruba 30 % dýchacích signálů je znehodnoceno pohyby dítěte, běžnou péčí o dítě či umělou plicní ventilací.⁽¹²⁾

Monitorovací podložky fungují na principu tlakových senzorů umístěných v podložce. Jsou vybavené zvukovým a vizuálním signalizačním alarmem k detekci dechových nepravidelností či zástavy dechu dítěte. Alarm se spustí, pokud dechová frekvence dítěte klesne pod 10 dechů/min nebo je pauza mezi jednotlivými nádechy více než 20 s. Podložka není v přímém kontaktu s dítětem a neomezuje jeho pohyb.⁽²¹⁾

Radarové techniky pracují na principu doppleru, detekují jednotlivé dýchací pohyby. Elektromagnetický pulz se šíří z vysílače a dopadá na sledovaný objekt. Po jeho dopadu se část pulzu odrazí a následně se zachytí na přijímači. V důsledku pohybu sledovaného objektu lze pozorovat dopplerovský nebo frekvenční posun. Přijímač detekuje jemné pohybové změny v rámci dechového úsilí novorozence. Existují různé elektromagnetické radarové systémy, které se využívají k monitoringu dechové frekvence novorozenců – laserový doppler, pulzní radiový ultraširokopásmový radar (impulse-radio ultra-wideband, IR-UWB) a radiofrekvenční radar (RF).⁽¹⁹⁾

RGB (red, green, blue) kamera založená na principu pohybu registruje jemné změny hrudníku v souvislosti s dýchacími pohyby. Jemné změny jsou detekovány pomocí odečtení pozadí, řídkého optického toku, jasu nebo sledování barev v oblasti pohybu. Tyto změny v závislosti na čase představují dechovou vlnu, avšak pohyby sledovaného objektu mohou měnit dechový signál.⁽¹⁹⁾

NEINVAZIVNÍ MONITORING SATURACE HEMOGLOBINU KYSÍKEM

Kyslík je jeden z nejužívanějších léků v péči především o nezralé novorozence na jednotkách intenzivní péče. K měření saturace arteriální krve kyslíkem se nejčastěji používá pulzní oxymetr. Cílem je dávkovat kyslík v takovém množství, aby se udržely saturace krve kyslíkem novorozence v optimálním rozpětí, které nevede k poškození jednotlivých orgánů inzultu hypoxie či hyperoxie.⁽²²⁾

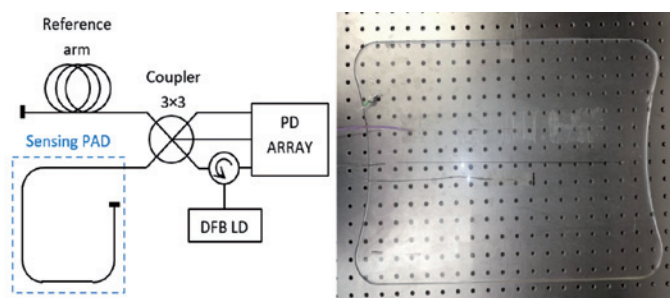
Pulzní oxymetr je základní přístroj k měření saturace arteriální krve kyslíkem, byl vyvinut v roce 1972 japonským elektroinženýrem Takuem Aoyagim.⁽²³⁾ Pulzní oxymetr se skládá ze sondy se zabudovaným zdrojem záření připevněné na ruku nebo nohu novorozence a protilehlého detektoru záření. Sonda vysílá světlo o dvou různých vlnových délkách, červené (660 nm) a infračervené (940 nm). Absorpce světla na těchto vlnových délkách se liší v závislosti na nasycení krve kyslíkem. Redukovaný hemoglobin propouští více červeného světla než oxyhemoglobin. Množství propuštěného světla je změřeno a výsledkem jsou dvě hodnoty pro každou vlnovou délku. Aby bylo možné hodnotit saturaci kyslíkem pouze v arteriální krvi, měří se na principu PPG absorpce světla selektivně jen v systolickém nárůstu objemu krve v arteriích po kontrakci komor.⁽²³⁾ Následně je detektorem vypočten poměr mezi změřenými hodnotami pro obě světla. Tento poměr určuje poměr saturovaného hemoglobinu kyslíkem, který je poté detektorem převeden na hodnotu periferní saturace krve kyslíkem.

Transkutánní monitorování krevních plynů je neinvazivní metoda sloužící k měření parciálního tlaku kyslíku a oxidu uhličitého v krvi za použití zahřátých elektrod.⁽²⁴⁾ Elektrody jsou nejčastěji připevněny na hrudník či břicho novorozence, kde je kůže poměrně tenká s bohatou sítí kapilár. Přesnost měření závisí na výši teploty elektrod, při teplotě elektrod 43–44 °C je kůže dostatečně prokrevná a výsledky měření dobře korelují s hodnotami z krve. Komplikacemi této metody může být zarudnutí či poranění kůže pod elektrodami včetně tvorby puchýřů.

Digitální RGB kamera nabízí i možnost měřit periferní saturaci krve kyslíkem.^(18,25) Hodnoty srdeční akce, dechové frekvence i saturace krve kyslíkem se získávají zpracováním RGB signálů zaznamenaných digitální videokamerou. Kamera je složena ze tří oddělených senzorů pro nezávislé měření intenzity červeného, zeleného i modrého světla. Dle předem daného algoritmu jsou zpracovávány odrazové signály z kamery a na jejich podkladě určeny hodnoty pro srdeční i dechovou frekvenci novorozence a jeho periferní saturaci krve kyslíkem.⁽²⁵⁾

VÝVOJ NOVÝCH TECHNOLOGIÍ – VLASTNÍ ZKUŠENOSTI

Neonatologický tým Fakultní nemocnice Ostrava je nyní součástí výzkumu vedeného na Fakultě elektrotechniky a informatiky Technické univerzity v Ostravě, kde je vyvíjena senzorická podložka s optickým vláknem pro snímání srdeční a dechové frekvence novorozenců (obr. 3). Výzkumný projekt nyní podstoupil animální část, monitoring srdeční a dechové frekvence New White Zealand králíků v různých hmotnostních kategoriích (1,5–4,15 kg). Klidová srdeční frekvence těchto králíků se pohybuje v rozmezí 130–325/min a klidová dechová frekvence v rozmezí 30–60 dechů/min. Po vyhodnocení dat by měla následovat klinická část studie na Oddělení neonatologie Fakultní nemocnice v Ostravě.



Obr. 3: Experimentální senzorická podložka s optickým vláknem

Senzorická podložka se zabudovaným optickým vláknem v primární ochraně zakončené zrcadlem tvoří měřící větev optovláknového interferometru. Dále následuje zdroj záření, laserová dioda, která je připevněna pomocí optovláknového cirkulátoru, a fotodetektor. Pro záznam dat a následné zpracování získaného signálu byla použita vlastní aplikace, pro jejíž vývoj a naprogramování bylo využito vývojové prostředí LabVIEW. Jako referenční přístroj pro měření srdeční frekvence králíků bylo využito EKG a pro měření dechové frekvence hrudní impedance, která získává signál z EKG elektrod.

Podložka by měla být určena pro sledování vitálních funkcí novorozence v nemocničním a následně i v domácím prostředí.

ZÁVĚR

Monitoring vitálních funkcí je nedílnou součástí péče o novorozence na jednotkách intenzivní, intermediární i primární péče. Standardní metody jsou většinou dotykové. Uznávaným zlatým standardem pro měření srdeční akce v nemocničním prostředí je EKG, měření dechové frekvence především u ventilovaných pacientů pomocí průtokového senzoru. U dechové frekvence je ale nejrozšířenější monitoring prostřednictvím hrudní impedance, která získává signál z EKG elektrod. Dotykové metody mají svá rizika a pro jejich snížení nebo odstranění a větší komfort pacienta jsou vyvíjeny metody bezdotykové.

Podmínkou zavádění nových monitorovacích technik do praxe je jejich přesnost a preciznost měření ve srovnání s referenčními standardy pro měření jednotlivých vitálních funkcí novorozence. Důležitá je dále jejich cenová dostupnost a přívětivost pro uživatele v kontextu běžné ošetrovatelské péče o novorozence či v akutních stavech při nutnosti kardiopulmonální resuscitace. |

LITERATURA

1. **Blanik N, Heimann K, Pereira C, et al.** Remote vital parameter monitoring in neonatology – robust, unobtrusive heart rate detection in a realistic clinical scenario. *Biomed Eng-Biomed Te* 2016; 61(6): 631–643.
2. **Pereira CB, Yu X, Goos T, et al.** Noncontact monitoring of respiratory rate in newborn infants using thermal imaging. *IEEE T Bio-Med Eng* 2019; 66(4): 1105–1114.
3. **Cobos-Torres JC, Abderrahim M, Martínez-Orgado J.** Non-contact, simple neonatal monitoring by photoplethysmography. *Sensors* 2018; 18(12): 4362.
4. **Anton O, Fernandez R, Rendon-Morales E, et al.** Heart rate monitoring in newborn babies: a systematic review. *Neonatology* 2019; 116(3): 199–210.
5. **Kevat AC, Bullen DVR, Davis PG, et al.** A systematic review of novel technology for monitoring infant and newborn heart rate. *Acta Paediatr* 2017; 106(5): 710–720.
6. **Marchionni P, Scalise L, Ercoli I, et al.** An optical measurement method for the simultaneous assessment of respiration and heart rates in preterm infants. *Rev Sci Instrum* 2013; 84(12): 121705.
7. **Di Fiore JM.** Neonatal cardiorespiratory monitoring techniques. *Semin Neonatol* 2004; 9(3): 195–203.
8. **McVea S, McGowan M, Rao B.** How to use saturation monitoring in newborns. *Arch Dis Child Educ Pract* 2019; 104(1): 35–42.
9. **Joshi R, Bierling B, Feijs L, et al.** Monitoring the respiratory rate of preterm infants using an ultrathin film sensor embedded in the bedding: a comparative feasibility study. *Physiol Meas* 2019; 40(4): 045003.
10. **Urbanová Z, Šamánek M.** Dětská kardiologie do kapsy. Praha: Mladá fronta 2013: 10–20.
11. **Janota J, Straňák Z.** Neonatologie. In: Burianová I, Kubuš P. Arytmie. Praha: Mladá fronta 2013: 42–52.
12. **Sato S, Ishida-Nakajima W, Ishida A, et al.** Assessment of a new piezoelectric transducer sensor for noninvasive cardiorespiratory monitoring of newborn infants in the NICU. *Neonatology* 2010; 98(2): 179–190.
13. **Henry C, Shipley L, Ward C, et al.** Accurate neonatal heart rate monitoring using a new wireless, cap mounted device. *Acta Paediatr* 2021; 110(1): 72–78.
14. **Kraaijenga JV, Hutten GJ, de Jongh FH, et al.** Transcutaneous electromyography of the diaphragm: A cardio-respiratory monitor for preterm infants. *Pediatr Pulm* 2015; 50(9): 889–895.
15. **van Leutenen RW, Kho E, de Waal CG, et al.** Cardiorespiratory monitoring in the delivery room using transcutaneous electromyography. *Arch Dis Child-Fetal* 2021; 106(4): 352–356.
16. **Gangaram-Panday NH, van Essen T, Goos TG, et al.** Dynamic light scattering: a new noninvasive technology for neonatal heart rate monitoring. *Neonatology* 2020; 117(3): 279–286.
17. **Černý M.** Přechodná tachypnoe novorozence. In: Straňák Z, Janota J. Neonatologie. 2., přepracované a rozšířené vydání. Praha: Mladá fronta 2015: 411–414.
18. **Šemberová J, Straňák Z.** Apnoe a bradykardie. In: Straňák Z, Janota J. Neonatologie. 2., přepracované a rozšířené vydání. Praha: Mladá fronta 2015: 74–80.
19. **Maurya L, Kaur P, Chawla D, et al.** Non-contact breathing rate monitoring in newborns: A review. *Comput Biol Med* 2021; 132: 104321.
20. **Abbas AK, Heimann K, Jergus K, et al.** Neonatal non-contact respiratory monitoring based on real-time infrared thermography. *BioMed Eng OnLine* 2011; 10(1): 93.
21. **Monitory dechu babysense.** Dostupné na: <https://www.babysense.cz/>
22. **Huizing MJ, Villamor-Martínez E, Vento M, et al.** Pulse oximeter saturation target limits for preterm infants: a survey among European neonatal intensive care units. *Eur J Pediatr* 2017; 176(1): 51–56.
23. **Nitzan M, Nitzan I, Arieli Y.** The various oximetric techniques used for the evaluation of blood oxygenation. *Sensors* 2020; 20(17): 4844.
24. **Ochiai M, Kurata H, Inoue H, et al.** Transcutaneous blood gas monitoring among neonatal intensive care units in Japan. *Pediatr Int.* 2020; 62(2): 169–174.
25. **Villarroel M, Guazzi A, Jorge J, et al.** Continuous non-contact vital sign monitoring in neonatal intensive care unit. *Health Technol Lett* 2014; 1(3): 87–91.