

ARTIMO INFRARAUDONIESIEMS SPINDULIAMS DIAPAZONO SPEKTROSKOPIJA – SMEGENŲ IR AUDINIŲ OKSIGENACIJOS RODIKLIS

ALINA VILKĖ^{1,2}, DALIA BIELIAUSKAITĖ³, SANDRA BAUŽAITĖ³, DIANA BILSKIENĖ¹, AN-
DRIUS MACAS¹, EDMUNDAS ŠIRVINSKAS¹, ARIMANTAS TAMAŠAUSKAS^{2,4}

¹Lietuvos sveikatos mokslų universiteto Medicinos akademijos Anesteziologijos klinika, ²Lie-
tuvos sveikatos mokslų universiteto Medicinos akademijos Neuromokslų institutas, ³Lietuvos
sveikatos mokslų universiteto Medicinos akademija, ⁴Lietuvos sveikatos mokslų universiteto
Medicinos akademijos Neurochirurgijos klinika

Raktažodžiai: *išemija, smegenys, oksimetrija, deguo-
nis, saturacija.*

Santrauka

AISD (Artimo infraraudoniesiems spinduliams di-
apazono) spektroskopijos metodas yra neinvazi-
nis, nežalingas audiniams ir suteikia daug infor-
macijos apie audinių kraujotaką bei deguonies
saturaciją realiu tyrimo laiku. Svarbiausia, kad
AISDS gali būti pritaikoma intensyvios terapijos
skyriuje ir operacijų metu deguonies saturacijos
stebėjimui bei nustatant audinių išeminius poky-
čius.

Veikiant AISD šviesos spektrui, pirminės šviesą
absorbuojančios molekulės audiniuose yra meta-
lo komplekso chromoforai: hemoglobinas (Hb),
bilirubinas ir citochromai. AISD prietaisuose
naudojama tokio bangos ilgio šviesa, kuriai bio-
loginiai audinių chromoforai yra jautriausi.

Įtaką smegenų oksigenacijos matavimo rezulta-
tams daro pati žmogaus kūno sandara – kad švie-
sos fotonai prasiskverbtų iki smegenų audinio, jie
turi įveikti skalpą, kaukolę, kietąjį smegenų audi-
nį. Tai iškraipo matavimo rezultatus. Siekiant su-
mažinti ekstrak cerebrinių audinių įtaką rasta išei-
tis – reikia pasirinkti optimalų atstumą tarp AISD
spindulių šaltinio ir jų sensoriaus. Kita problema
– galimas netolygus chromoforų koncentracijos
pasiskirstymas (pvz., Hb sankaupos subduralinė-
se, epiduralinėse hematomose, konjuguoto Hb
koncentracijos padidėjimas visame kūne geltos
metu). Didžiausios paklaidos būna esant traumi-
niams galvos sužalojimams. Nepaisant visų me-
todo trūkumų, galimybė nustatyti kliniškai neiš-

ryškėjusią smegenų išemiją yra labai naudinga,
juk taip galima išsaugoti nepažeistą neurologinę
funkciją!

AISDS padeda pasiekti geresnių baigčių per šir-
dies ir kraujagyslių operacijas, nes atliekant sme-
genų oksimetriją per tyrimą užfiksuotos geresnės
baigtys nei jos neatliekant. Nuosekliai monito-
ruotiems pacientams sumažėjo klinikinį insultų
skaičius. AISDS gali būti naudojama ne tik su-
augusiems, bet ir vaikams: neišnešiotų kūdikių
apnėjos epizodų metu, taip pat gelbsti įvykus
asfikcijai gimdymo metu, per kardiochirurgines
operacijas.

Smegenų oksimetrijos tyrimą stengiamasi panau-
doti ne tik smegenų, bet ir kitų audinių perfuzijai
tirti. Vertinant skysčių pusiausvyros atstatymą iš-
tikus trauminiam šokui, dehidruotiems pediatri-
niams pacientams, taip pat vertinant vidaus orga-
nų perfuziją po vaikų širdies operacijų nustatyta,
kad somatinis AISDS koreliuoja su audinių perfu-
zijos rodikliais. Apatinių galūnių regioninė SaO₂
buvo panaudota patvirtinti pozicinio audinių
suspaudimo sindromo vystymąsi po chirurginio
kraujagyslių pašalinimo, taip pat įvertinti įvairių
anestetikų poveikį organizmo mikrocirkuliacijai.
Audinių AISDS tiriama ieškant rodmenų, kuris
parodytų, ar traumą patyrusiam pacientui reikia
kraujo transfuzijos, kad būtų išvengta hemora-
ginio šoko. Gauti tyrimo rezultatai parodė, kad
audinių rSaO₂ gali būti svarbus atrankos įrankis
trauminių pacientų kraujo transfuzijos poreikiui
nustatyti. Taip pat tyrimai rodo, kad šį metodą
įmanoma pritaikyti progresuojančiai nugaros
smegenų išemijai nustatyti po tam tikrų operacijų.

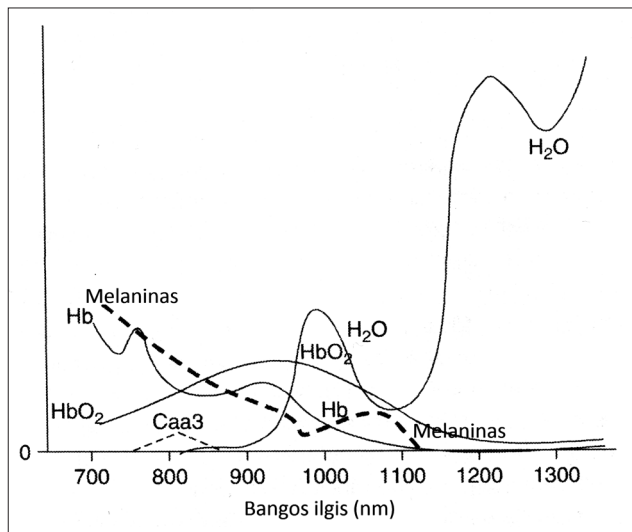
IVADAS

Miokardo ir smegenų audinio deguonies saturacijos, naudojant artimo infraraudoniesiems spinduliams diapazono (AISD) spindulius transluminalinės spektroskopijos metu, tyrimų rezultatai pirmą kartą buvo paskelbti 1977 metais (*Jobsis*) [21]. Žmogaus audinių oksimetrijos studijos naudojant AISD pirmą kartą buvo atliktos 1985 [15], o 1993 metais buvo pradėti gaminti pirmieji komerciniai smegenų oksimetrijos prietaisai (INVOS 3100®). AISD prietaisai nuolat tobulinami, siekiant didesnio tikslumo ir specifiškumo nustatant išeminius audinių pokyčius. Šis metodas yra neinvazinis, nežalingas audiniams ir suteikia daug informacijos apie audinių kraujotaką bei deguonies saturaciją realiu tyrimo laiku, gali būti pritaikomas intensyvios terapijos skyriuje ir operacijų metu stebint deguonies saturaciją, bei nustatant audinių išeminius pokyčius.

Šio straipsnio tikslas - apžvelgti literatūros duomenis apie artimo infraraudoniesiems spinduliams diapazono spektroskopiją (*near-infrared spectroscopy*), paaiškinti šio stebėsenos būdo veikimo principus, metodus bei svarbą diagnozuojant smegenų bei kitų organų, audinių išemiją pacientams.

TYRIMO MEDŽIAGA IR METODAS

Tai apžvalginis straipsnis, kurį rengiant buvo peržvelgtos 102 pastarųjų metų publikacijos, parinktos pagal raktažodžius „near-infrared spectroscopy, brain, ischaemia, oximetry, oxygen, saturation“ MEDLINE,



1 pav. Oksihemoglobino (HbO_2), deoksihemoglobino (Hb), citochromoksidazės aa3 (Caa3), melanino ir vandens (H_2O) absorbcijos spektras.

SpringerLink duomenų bazėse. Tačiau neuroanestezijos ir neurochirurgijos srityse yra nedaug publikacijų, nagrinėjančių šią tematiką, taigi straipsniui parengti iš viso panaudota 66 publikacijos, kurios aprėpia kiek platesnį temų lauką.

Artimo infraraudoniesiems spinduliams diapazono spektroskopija (AISDS). AISD šviesa naudojama matuojant regioninę deguonies saturaciją ($r\text{SaO}_2$) smegenų audinyje. Šis metodas pagrįstas optinės fotometrijos principu, pagal kurį visi biologiniai audiniai yra lengvai penetruojami AISD spinduliu, o jų silpnėjimas, skverbiantis per audinį, priklauso nuo kelių žinomų kintamųjų. Tačiau dėl mažo perduodamos šviesos intensyvumo dažniausiai yra naudojami modifikuoti AISDS prietaisai, kuriuose signalą priimančios sensoriai yra dėdami ipsilateraliai AISD spinduliu šaltiniui.

Audinių deguonies saturacijos matavimas. Perduodamos šviesos intensyvumo mažėjimas yra ekvivalentiškas medžiagos kiekiui ir atitinkamos medžiagos kiekio absorbcijos laipsniui, kurį apibrėžia išnykimo koeficientas (ϵ), tiesiogiai priklausantis nuo šviesos bangos ilgio ir medžiagos absorbcinių savybių. AISD spinduliu penetracijos gylis proporcingas vidutiniam kelio, kurį fotonai nueina skverbdamiesi per audinį, ilgiui. Skirtingo bangos ilgio šviesos perėjimas per audinį priklauso nuo trijų veiksmų kombinacijos: šviesos išsklaidymo, atspindėjimo ir absorbcijos. Šviesos atspindėjimas priklauso nuo šviesos spinduliu kritimo kampo ir medžiagos paviršiaus savybių. Jis mažėja didėjant šviesos bangos ilgiui, todėl AISD spinduliu transmisija yra geresnė už matomos šviesos spinduliu transmisiją. Šviesos išsklaidymas priklauso nuo audinio kompozicijos bei šviesos ir audinio struktūrų sąveikos taškų, o šviesos absorbcija – nuo molekulinė audinio savybių. Kai šviesos bangos ilgis yra per 1300 nm, vanduo absorbuoja visus fotonus kelių milimetrų gylyje (antras pikas yra tarp 950 ir 1050 nm), tuo tarpu kai bangos ilgis mažiau nei 700 nm, didėja šviesos išsklaidymas bei hemoglobino (Hb) absorbcijos intensyvumas ir tai mažina šviesos transmisijos efektyvumą. Kai šviesos bangų ilgis svyruoja tarp 700 ir 1300 nm, AISD šviesos penetracija biologiniuose audiniuose siekia kelis centimetrus. [28] Veikiant AISD šviesos spektrui, pirminės šviesą absorbuojančios molekules audiniuose yra metalo komplekso chromoforai: Hb , bilirubinas ir citochromai. Deoksihemoglobino (Hb) absorbcijos spektras svyruoja nuo 650 iki 1000 nm, oksihemoglobino (HbO_2) – nuo 700 iki 1150 nm, o citochromoksidazės aa3 absorbcijos pikas yra tarp 820 ir 840 nm (1 pav.). [21] AISD prietaisuose naudojama tokio bangos ilgio šviesa, kuriai biologi-

niai audinių chromoforai yra jautriausi – nuo 700 iki 850 nm ilgio. Esant tokiam bangos ilgiui, Hb ir HbO₂ absorbcijos spektrai yra maksimaliai izoliuoti ir minimaliai persidengia su vandens absorbcijos spektru. Hb/HbO₂ izobestinis taškas (izobestinis taškas (IT) – tai toks bangos ilgis, kuriam esant molinės Hb ir HbO₂ absorbcinės savybės sutampa) yra 810 nm. Izobestinis absorbcijos spektras gali būti panaudojamas matuojant bendrą audinių hemoglobino koncentraciją.

AISD šviesos absorbcija audiniuose yra apibrėžiama pagal Beer-Lambert dėsnį:

$$\Delta A = L \times \mu$$

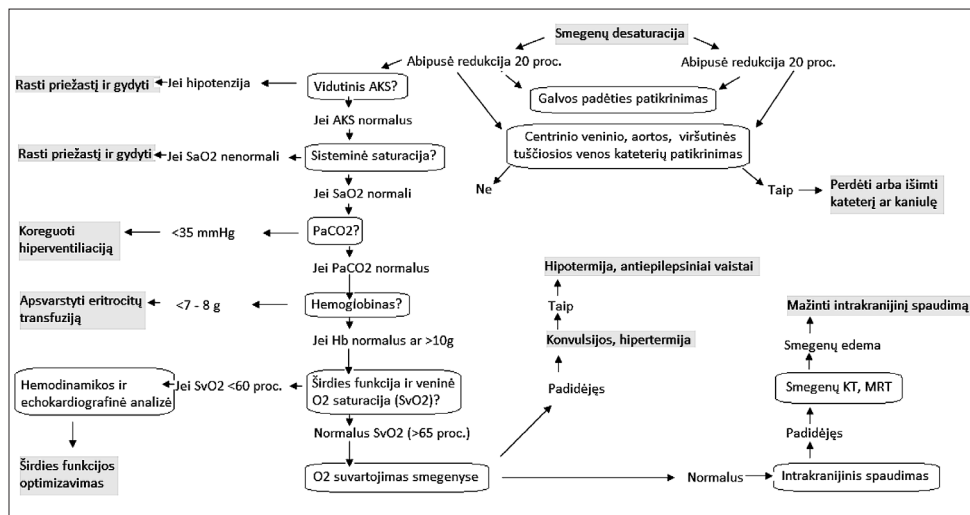
kur ΔA abibūdina šviesos kiekio mažėjimą, L – diferencialinį fotonų sklaidimo per audinį kelias, μ – tai chromoforo X absorbcijos koeficientas, kuris gali būti išreiškiamas $[X] \times \epsilon$, kur $[X]$ yra chromoforo X koncentracija audiniuose, o ϵ – išnykimo koeficientas. Taigi, $[X] = \Delta A / L \times \epsilon$, o ši formulė teoriškai leidžia išmatuoti deguonies saturaciją audiniuose.

Daugiabangė atimo infraraudoniesiems spinduliams diapazono saturacija ir absoliuti bei realiatyvi deguonies saturacija. Kadangi ΔA gali būti išmatuojama tiesiogiai ir ϵ priklauso nuo įvairių audinių chromoforų buvimo, absoliuti chromoforų koncentracija $[X]$ yra atvirkščiai proporcinga fotonų sklaidimo keliui (L). Tačiau šis dydis negali būti tiesiogiai pamatuojamas dėl atspindėjimo ir refrakcijos skirtinguose audinių sluoksniuose. Taigi audiniuose gali būti išmatuojama tik realiatyvi chromoforų koncentracija.

Naudojant daugiabangę AISDS audinių absorbcijos koeficientas gali būti pamatuojamas tiesiogiai:

$$\mu = [X] \times \epsilon;$$

Kadangi audinių chromoforų koncentracija gali būti pamatuojama, nėra būtinybės vertinti L (fotonų kelio per audinį). [25] Šis modelis patvirtintas atliekant *in vitro* tyrimus, naudojant žmogaus kaukolės ir smegenų audinius. Tačiau maža Hb koncentracija didina matavimo klaidų procentą iki 15 proc., o didėjant kaukolės kaulinio audinio storiumi, matavimo klaidos didėja iki 32



2 pav. Siūlomas smegenų oksimetrijos panaudojimo algoritmas. KT, kompiuterinė tomografija; AKS, arterinis kraujo spaudimas; MRT, magnetinio rezonanso tomografija.

proc. [25] Atitinkamai tam tikros matavimo paklaidos, kurias sąlygoja ekstracerebriniai audiniai, turi būti koreguojamos, net ir matuojant absoliučius dydžius.

Įtaka matavimo rezultatams. AISDS matavimo duomenims turi įtakos heterogeninė audinio struktūra, kuri priklauso nuo kapiliarų, arterijų, venų tinklo ir kitų, nekraujagyslinių, audinio struktūrų. Naudojant AISDS smegenų audinyje fotonai penetruoja kelis skirtingų audinių tipų sluoksnius – skalpą, kaukolę, kietąjį smegenų dangalą, kuriuose gali būti įvairios kraujo ir audinių chromoforų koncentracijos. Tiek kompiuterinės simuliacijos, tiek ir audinių eksperimentiniai modeliai parodė, kad AISD šviesos transmisijos metu fotonai pasiskirsto elipse apie AISD spindulių šaltinį, o jų penetracijos gylis audiniuose atitinka apie 1/3 atstumo tarp šaltinio ir sensoriaus. [16] Didėjant šaltinio/sensoriaus atstumui, didėja fotonų penetracija ir mažėja ekstracerebrinių audinių įtaka matavimo rezultatams [16], tačiau matavimo metu naudojama energija turi būti ribojama, siekiant išvengti vietinio terminio audinių pakenkimo. Optimaliausias prietaisų atskyrimas turėtų būti apie 5 cm. [34] Esant tokiam atstumui vidutinė AISD fotonų penetracija yra apie 1,7 cm, o tai mažina ekstracerebrinių audinių įtaką matavimams. [34] Tačiau nors ir išlaikant optimalų atstumą tarp šaltinio ir sensoriaus, ekstracerebrinių audinių įtaka matavimams vistiek išlieka.

Kadangi AISD fotonų penetracija atitinka apie 1/3 atstumo tarp šaltinio ir sensoriaus, naudojami du skirtingų nuotolių sensoriai, kurių vienas dedamas arčiau šaltinio, kitas – toliau. Artimesnis sensorius, esantis 3

cm atstumu nuo šaltinio, registruoja signalus iš paviršinių audinių, o tolimesnis, esantis 4 cm atstumu nuo šaltinio, registruoja signalus iš giliau esančių audinių, t.y. smegenų žievės. Naudojant specifinį atimties algoritmą, galima atskirti signalus ir išmatuoti žievės deguonies saturaciją. Skirtingų atstumų sensoriai yra naudojami tam, kad būtų galima diferencijuoti signalus, gautamus iš cerebrinių ir ekstracerebrinių struktūrų.

Ekstracerebriniai audiniai ir jų įtaka matavimams. Hemoglobinas yra pagrindinis AISD šviesą absorbuojantis chromoforas, todėl epiduralinės arba subduralinės hematomos turi didelės įtakos matavimo rezultatams. Esant hematoma kinta santykis tarp cerebrinių ir ekstracerebrinių audinių Hb koncentracijos, keičiasi deguonies saturacijos duomenys. Vieno iš atliktų tyrimų, kuriame dalyvavo 103 kardiochirurginio ir neurochirurginio profilio pacientai, metu palyginti matavimo duomenys, gauti INVOS 4100® (*Somanetics Corporation*) ir NIRO-100® (*Hamamatsu Photonics KH, Hamamatsu City, Japan*) oksimetrijos prietaisais. Analizuojant rezultatų buvo nustatyta, kad rSaO₂ reikšmėms, gautoms naudojant INVOS 4100®, įtakos turėjo bendra Hb koncentracija, kaukolės storis ir cerebrospinalinio skysčio kiekis. [57] Paviršiniai ekstracerebriniai audiniai, ypač jei jie yra edemiški, gali lemti artefaktinius rezultatus. Tačiau tyrimo metu nebuvo vertintas jų sukeltas AISD spindulių silpninimas, kuriam kompensuoti INVOS 4100® naudoja specifinį atimties algoritmą. [57] Todėl siekiant padidinti metodo tikslumą ir specifiškumą, svarbu atkreipti dėmesį į visus trukdžius, galinčius iškreipti matavimo rezultatus.

Audinių chromoforai ir jų įtaka matavimams. Melanino koncentracija plaukuose gali turėti įtakos matavimo rezultatams, todėl optimali sensorių padėtis matavimo metu turėtų būti 2-3 cm virš akiduobių kraštų, vengiant frontaliųjų sinusų [37]. Odos melaninas yra susikaupęs paviršiniuose odos sluoksniuose, todėl įtakos matavimams neturi. Tačiau konjuguotas bilirubinas, kurio absorbcijos pikas yra 730 nm, kaupiasi visuose audinių sluoksniuose ir gali keisti audinių deguonies saturaciją tuomet, kai jo koncentracija audiniuose žymiai padidėja, t.y. geltos metu.

Didžiausias matavimo paklaidos nustatomos matuojant oksigenaciją trauminių galvos smegenų sužalojimų (TGSS) metu. Matavimo rezultatams įtakos turi ekstracerebriniai ir intracerebriniai kraujo išsiliejimai, audinių edema, subduralinės oro sankaupos po kraniotomijos, drėgnas odos paviršius. [58, 59, 66] Duomenys apie AISDS pritaikymą, esant TGSS, yra gana prieštaringi. Buchner su bendraautoriais nustatė, kad sunkių

TGSS metu AISDS matavimo paklaidos yra žymios ir prietaiso jautrumas smegenų žievės rSaO₂ mažėja [59], o Holzschuh atlikto tyrimo rezultatai yra priešingi. [62] Subbaswamy ir bendraautorių atliktame tyrime buvo nustatyta reikšminga neigiama koreliacija tarp regioninės deguonies saturacijos žievėje, nustatytos AISDS, ir nervinio audinio pažeidimą indikuojančių serologinių žymenų (S100β ir NSE (neuronams specifinė enolazė) koncentracijos [65].

Tiriant negyvus audinius AISDS prietaisais buvo gauti artimi normaliai rSaO₂ duomenys [64], nors SPECT scitigrafijos tyrimu nustatytas visiškas kraujotakos nutrūkimas audinyje. [61] Taip yra dėl sutrikusios deguonies sekvestracijos, žuvus audinių ląstelėms. Nutrūkus kraujo tėkmei audiniuose AISDS matavimo rezultatai daugiausia atspindi veninio kraujo deguonies saturaciją. [61] Todėl esant ilgalaikiam kraujotakos nutrūkimui ir žuvus audiniams, AISDS rezultatai gali būti klaidinantys [63].

Siekiant didesnio matavimo tikslumo ir specifiškumo, būtinas techninis AISDS prietaisų tobulinimas. Tam tikros techninės AISDS prietaisų modifikacijos leidžia sumažinti matavimo paklaidas, pvz. dažnio domeno AISDS vertina ne tik šviesos absorbciją, bet ir išsklaidymą, kuris labiausiai priklauso nuo audinio struktūros. Tai įvertintus galima sumažinti ekstracerebrinių trukdžių įtaką rezultatams. [60]

AISDS klinikinis pritaikymas. Nepaisant visų metodo trūkumų, galimybė nustatyti kliniškai neišryškėjusią smegenų išemiją yra labai naudinga, siekiant išsaugoti nepažeistą neurologinę funkciją. Pacientams, kuriems nustatytas kraujo išsiliejimas į subarachnoidinį tarpą, tuo pačiu metu buvo atlikta smegenų kraujagyslių angiografija ir AISDS. Angiografijos metu rastų kraujagyslių spazmų epizodai buvo susiję su ryškiu AISDS signalo silpnėjimu [4]. Be to, spazmo laipsnis (ypač daugiau kaip 75 proc. kraujagyslės diametro) buvo tiesiogiai proporcingas tos pačios pusės AISDS signalo intensyvumo mažėjimui. Taigi, naudojant AISDS, galima ne tik realiu metu nustatyti smegenų išemiją, bet ir įvertinti jos sunkumą.

Nors pakankamas smegenų oksigenacijos palaišymas klinikinėje anestezijoje yra ypač svarbus, smegenys vis dar išlieka vienas iš prasčiausiai monitoruojamų organų. Pavyzdžiui, kai kurių medicininių procedūrų metu gali būti sukeliama jatrogeninė smegenų išemija. Tai gali įvykti atliekant miego arterijos endarterektomiją, esant didelio laipsnio miego arterijos stenozei, smegenų aneurizmos operacijos metu, aortos lanko chirurginės procedūros metu, atliekant kardio-

plegiją ir kitose situacijose, kurių metu pati patologija gali sukelti smegenų išemiją, pvz., insultas arba TGSS.

Širdies ir kraujagyslių chirurgija. *Vainikinių arterijų jungčių suformavimo operacijos.* Smegenų oksimetrijos atvejo kontrolės ir retrospektyviniai širdies operacijų tyrimai parodė, kad atliekant smegenų oksimetriją pasiekiamos geresnės ligos baigtys, o smegenų desaturacija koreliuoja su prastomis išeitimis [14]. Tačiau kol kas yra atlikta mažai randomizuotų, prospektyvinių klinikinių tyrimų. Studijoje, kurios metu smegenų oksimetrija registruota 265 pacientams atliekant pirminę vainikinių arterijų jungčių suformavimo operaciją (VAJSO), atsitiktinai parinktų aktyviam stebėjimui ir keletas intervencijų, skirtų patobulinti/pagerinti rSaO₂ arba kontrolinėje grupėje (taikyta aklasis metodas), buvo nustatytas reikšmingas ryšys tarp ilgalaikės smegenų desaturacijos ir ankstyvo kognityvinių funkcijų sutrikimo ir taip pat tris kartus padidėjusi ilgalaikio hospitalizavimo rizika. [44] Vis dėlto smegenų desaturacijos rodikliai tarp grupių buvo panašūs. Tai aiškinama netinkamu gydymo protokolų laikymusi. Prospektyvinėje, akluoju atsitiktiniu būdu atliktoje studijoje tarp 200 pacientų, kuriems atlikta VAJSO, buvo reguliuojamos rSaO₂ vertės, vengiant ilgalaikės cerebrinės desaturacijos. Nustatyta, kad rSaO₂ rodikliai nulėmė statistškai reikšmingai sutrumpėjusius: gydymą intensyvios terapijos skyriuje, sergamumą kitų organų ligomis, mirtingumą. [30, 29] Intervencijos protokole įrašius, kad rSaO₂ reikia grąžinti į pradinį lygį, sparčiai pagerėjo rSaO₂ (84 proc. atvejų), alogeninių transfuzijų atvejų nepadaugėjo. [13, 29] Taip pat nuosekliai monitoruotiems ankstesnėse studijose pacientams sumažėjo klinikinių insultų skaičius. Pavyzdžiui, užfiksuotas žymus perioperacinių insultų sumažėjimo dažnis – nuo 2 proc. iki 0,97 proc. – pacientams, kuriems taikyta *INVOS* rSaO₂ smegenų oksimetrija, siekiant optimizuoti ir palaikyti intraoperacinę smegenų oksigenaciją, palyginus su palyginamąja grupe, operuota prieš 18 mėn.

Kraujotakos sustabdymas gilia hipotermija. Vidutinė (25 – 30°C) ir gili (<25°C) hipotermija išlieka svarbiausia smegenų bei sisteminė organizmo apsauga atliekant kompleksines aortos lanko operacijas, kai sisteminė kraujotaka yra sutrikdoma sąlyginai ilgam laikui. Kūno temperatūrai nukritus žemiau 25°C ribos, pradeda silpnėti EEG signalas, todėl smegenų funkcijos stebėjimo galimybės tampa labai ribotos. Net ir gilios hipotermijos metu AIDS padeda nustatyti ankstyvus išemijos epizodus, todėl tokiomis sąlygomis šis metodas gali būti naudojamas kaip pagrindinė smegenų funkcijos stebėjimo priemonė [23, 24].

Studijoje, kurioje abipusė regioninė deguonies saturacija buvo stebima naudojant AIDS prietaisą *INVOS 4100®*, nuosekliai tirti 46 pacientai. Tiriamiesiems buvo atlikta selektyvi anterogradinė smegenų perfuzija (SASP) esant dešinės poraktikaulinės arterijos perfuzijai (su arba be kairės miego arterijos perfuzijos) arba esant atskirai lydinčios bevardės ir kairiosios miego arterijų perfuzijai. [35] Šeši pacientai mirė ligoninėje, šeši (13 proc.) – patyrė perioperacinį insultą. Visų rSaO₂ buvo žymiai žemesnė atliekant SASP. rSaO₂ sumažėjo 76 – 86 proc. nuo pradinio lygio. Nustatytas 83 proc. jautrumas ir 94 proc. specifiskumas identifikuojant pacientus, kuriuos ištiko insultas. Tyrimo metu gauti duomenys parodė, kad AIDS naudojimas esant SASP leidžia nustatyti kliniškai svarbią smegenų desaturaciją ir išvengti perioperacinių neurologinių pasekmių.

Taip pat medicininėje literatūroje pateikti aortos lanko operacijų atvejai, kurių metu smegenų oksimetrija parodė smegenų hipoperfuziją dėl daugelio faktorių, tokių kaip kylančiosios aortos disekcijos su miego arterijų spindžio okliuzija, intraoperacinės karotidinio šunto trombozės [42], perfuzinės kaniulės užsilenkimo arba obstrukcijos per SASP [41], arba susilpnėjusios srovės per Blalock – Taussig šuntą po pediatrinės širdies operacijos. [39]

Miego arterijos endarterektomija. Atliekant miego arterijos endarterektomiją (MAE) laikinai užspaudžiama vidinė miego arterija. Pacientams su menka kolateraline kraujotaka tai gali sukelti smegenų išemiją. Perioperacinis insultas po MAE ištinka iki 5 proc. pacientų [40]. Smegenų monitoravimas šiems pacientams yra ypatingai svarbus. Stebėsenos prietaisai, tokie kaip transkranialinis dopleris (TKD), elektroencefalografas (EEG) ir somatosensoriniai sukeltieji potencialai (SSEP), yra sėkmingai naudojami, bet jie turi logistinių apribojimų ir kliūčių [2, 9, 12, 53]. Daugiau nei 20 proc. pacientų TKD yra negalimas dėl transkranialinio lango trūkumų, SSEP ir EEG matavimai yra veikiami anestetinių medikamentų ir elektrokoaguliacijos, kurie sukelia aukšto laipsnio techninius trukdžius. Klinikinėje studijoje, į kurią įtraukta 314 pacientų po MAE, EEG užfiksavo smegenų išemiją tik 59 proc. pacientų. Klaidingai teigiamų rezultatų dažnis – 1,0 proc., klaidingai neigiamų – 41 proc. Tai rodo šio metodo mažą jautrumą ir patikimumą. [17].

Medicininėje literatūroje pateiktos studijos parodė, kad smegenų oksimetrijos stebėjimas yra geras būdas, nustatant smegenų išemiją MAE metu. [7, 8, 20, 48, 55, 56] Palyginus su kitais stebėjimo ir matavimo prietaisais, neinvazinį AIDS aparatą yra lengva ir paprasta

naudoti, o gauti duomenys rodo nenutrūkstamą frontalinės žievės deguonies saturaciją.

Pooperacines neurologinės komplikacijos po MAE gali sukelti pagerėjusi smegenų kraujotaka, pašalinus miego arterijos stenozę. Esant lėtinei smegenų išemijai, greitas regioninės perfuzijos atkūrimas gali sukelti hiperperfuzijos sindromą dėl suprastėjusios smegenų kraujotakos autoreguliacijos. Šiam sindromui būdingas galvos skausmas, smegenų edema, priepuoliai ir sunkiais atvejais, intracerebrinė hemoragija. [33] Žymi koreliacija tarp $rSaO_2$ rodmenų iš karto po spausčių nuo miego arterijos nuėmimo ir smegenų kraujotakos pokyčių aptinkama 100 proc. jautrumu ir 86,4 proc. specifiskumu.

AISDS duomenys tiriant galvos trauminius sužalojimus patyrusius pacientus yra dviprasmiški. Iš vienos pusės gauta menka koreliacija su intrakranijinio spaudimo (IKP) pokyčiais ir juguliarine oksimetrija parodė mažą smegenų oksimetrijos jautrumą esant masyviam ūminiam galvos smegenų sužalojimui. [6] Nepaisant to, nustatytas didelis smegenų oksimetrijos jautrumas, kuris koreliuoja su kompiuterine tomografija ar MRT, aptinkant intrakranijines hematomas. Tačiau smegenų oksimetrijos panaudojimo galimybės esant trauminiams galvos smegenų sužalojimui kol kas nėra pilnai išnaudotos.

Pediatrija. AISDS gali būti naudojama ne tik suaugusiems, bet ir vaikams. Vaikų kardiologijoje, vaikų neurochirurgijoje, vaikų ir naujagimių intensyviojoje terapijoje AISDS vis dažniau naudojama monitoruoti ir aptikti smegenų išemijos epizodus operacijos metu [19] ir 48 val. po operacijos, kuomet sumažėjusi smegenų $rSaO_2$ siejama su Norwood operacijų (ši operacija atliekama esant įgimtai kairiojo skilvelio hipoplazijai) bloga baigtim. [36] Gimę per anksti arba per mažo svorio kūdikiai turi didesnę apnėjos riziką dėl nesubrendusių smegenų, intraskilvelinių/intraparenchimiinių hemoragijų ir periskilvelinių leukomaliacijų, kurios gali būti vieno iš patofiziologinio kelio kryptį į visas smegenis apimančią išemiją.

11-kos neišnešiotų kūdikių, kuriems buvo nustatyti 145 apnėjos epizodai, tyrime smegenų oksimetrija naudota įvertinti smegenų cirkuliacijos variacijas. [54] Standartinės stebėsenos (SpO_2 , $\dot{V}SD$, kvėpavimo dažnis, AKS) rodmenys palyginti su AISDS metodu gautais smegenų tūrio ir oksigenacijos pokyčiais apnėjos epizodų metu. Įvykus kvėpavimo sustojimui nustatytas ženklus smegenų cirkuliacijos pokytis, SpO_2 nukrito žemiau 85 proc., bendras smegenų Hb kiekis padidėjo, o $rSaO_2$ sumažėjo.

Kitas AISDS tyrimas buvo atliktas naujagimiams, kuriems gimdymo metu įvyko asfikcija ir kuriems po to, kad būtų galima smegenis apsaugoti arba sumažinti antrinį jų pakenkimą, buvo taikoma švelni hipotermija. Registruoti tiek smegenų oksimetrijos, tiek EEG duomenys. [1] AISDS parodė smegenų kaujo tūrio sumažėjimą hipotermijos metu, tačiau šis tūris atsistatė per sušildymo laikotarpį, o smegenų oksigenacija išliko stabili. Sukėlus hipotermiją siekiant sumažinti smegenų hiperemiją ir neuronų metabolizmą po smegenų insulto smegenų oksimetrija gali būti naudinga stebint smegenų kraujo tūrio ir smegenų oksigenacijos pokyčius, vertinant gydymo efektyvumą.

Dažnai SvO_2 naudojamas stebint ir koreguojant širdies išmetimo tūrį, smegenų oksigenaciją vaikams širdies ir kraujagyslių operacijų metu bei naujagimių, vaikų intensyvosios terapijos skyriuose. [46, 51] Tortorello ir kolegos [46] panaudojo AISDS vertinant SvO_2 20-čiai pediatrinė kardiologinių pacientų ir nustatė teigiamą koreliaciją tarp $rSaO_2$ ir SvO_2 . Kitoje studijoje, į kurią buvo įtraukti 155 kritinės būklės naujagimiai ir kūdikiai, smegenų audinio oksigenacijos rodikliai, apibrėžiamas kaip santykis tarp HbO_2 ir bendrojo Hb koreliavo su arterinio kraujo deguonies saturacija, arterioveniniu deguonies pasiskirstymu ir centrine venine deguonies saturacija. [51] Nustatyta žymi koreliacija tarp smegenų $rSaO_2$ ir viršutinės tuščiosios venos deguonies saturacijos kvėpuojant ir palatos oru, ir 100 proc. deguonimi. Tiriant 29 pacientus - vaikus, kuriems buvo atliekama miokardo biopsija po širdies persodinimo operacijų, $rSaO_2$ taip pat buvo geriausias plaučių arterijos saturacijos prognostinis rodmuo. [5] Kardiologinių operacijų metu 20-čiai vaikų, sveriančių mažiau negu 10 kg, tirta smegenų $rSaO_2$, lyginant ją su SvO_2 . Tyrimas parodė, kad smegenų $rSaO_2$ buvo jautresnis smegenų saturacijos pokyčiams, negu SvO_2 , nes SvO_2 pirmiausiai parodė oksigenacijos sumažėjimą visame kūne. [38] Todėl vaikams, kuriems hemodinamikos stebėseną reikia apriboti, priimtinas sisteminės perfuzijos stebėjimo metodas galėtų būti smegenų oksimetrijos stebėseną.

Audinių perfuzijos tyrimai. Smegenų oksimetrijos tyrimą stengiamasi panaudoti ne tik smegenų, bet ir kitų audinių perfuzijai tirti tiek suaugusiems, tiek vaikams. [3, 26, 43, 47, 49]. Vertinant skysčių pusiausvyros atstatymą ištikus trauminiams šokui [10, 45, 50], dehidruotiems pediatrinėms pacientams [18], taip pat vertinant vidaus organų perfuziją po vaikų širdies operacijų [22] nustatyta, kad somatinis AISDS koreliuoja su audinių perfuzijos rodikliais. Apatinių galūnių $rSaO_2$

buvo panaudota patvirtinti pozicinio audinių suspauzdimo sindromo vystymąsi po chirurginio kraujagyslių pašalinimo, taip pat įvertinti įvairių anestetikų poveikį organizmo mikrocirkuliacijai [11].

Tyrimo metu gauti AIDS audinių oksigenacijos duomenys apie 20 pacientų, kuriems atliktos didelė kraujavimo riziką turinčios galvos–veido operacijos. Šie duomenys palyginti su kepenų audinio oksigenacija, su SvO_2 ir žarnyno perfuzija (matuota pagal skrandžio, žarnų pH). [52] Nors teigiama koreliacija su kepenų audinio oksigenacija, SvO_2 ir skrandžio pH buvo nedidelė, atskiri kepenų audinio oksigenacijos rodmenys parodė artimą koreliaciją su SvO_2 vertėmis ir permainingas koreliacijas su skrandžio pH vertėmis. Nustatyta, kad kepenų audinio oksigenaciją geriau atspindi centrinė veninė deguonies saturacija nei pH. Bet dėl riboto jautrumo ir specifiškumo nustatant SvO_2 sumažėjimą, centrinės veninės deguonies saturacijos nesiūloma naudoti klinikinėje praktikoje.

Vienoma iš tyrimų 20-čiai naujagimių prieš ir per įgimtą širdies ydos operacijas iširtos koreliacijos tarp inkstų $rSaO_2$, abdominalinio $rSaO_2$ ir skrandžio tonometrijos, SvO_2 ir kraujo laktatų. [20] Tyrimo metu nustatyta stipri teigiama koreliacija tarp abdominalinio $rSaO_2$ ir skrandžio tonometrijos, ir neigiama koreliacija tarp abdominalinio $rSaO_2$ ir serumo laktatų. Tyrėjai padarė išvadą, kad abdominalinė $rSaO_2$ matuojama kūdikiams tiek su vienu širdies skilveliu, tiek su abiem širdies skilveliais, stipriai koreliuoja su skrandžio pH, serumo laktatais ir SvO_2 , ir kad $rSaO_2$ matuojamas per priekinę pilvo sieną, koreliuoja stipriau už matuojamą šonuose. Taigi, abdominalinę AIDS galima naudoti kaip modalų, tęstinį, neinvazinį vidaus organų $rSaO_2$ tyrimo būdą kūdikiams po įgimtų širdies ydų operacijų.

Audinių AIDS tiriama ieškant rodmens, kuris parodytų, ar traumą patyrusiam pacientui reikia kraujo transfuzijos, kad būtų išvengta hemoraginio šoko. [45] Nustatyta minimali audinių $rSaO_2$ <70 proc. koreliuoja su kraujo transfuzijos poreikiu 88 proc. jautrumu ir 78 proc. specifiškumu, nors klinikiniai požymiai, tokie kaip hipotenzija, tachikardija, arterinio kraujo laktatų kiekis, šarmų deficitas, hemoglobino sumažėjimas, nerodė kraujo transfuzijos poreikio per 24 val. nuo paciento atvykimo į gydymo įstaigą. Gauti tyrimo rezultatai parodė, kad audinių $rSaO_2$ gali būti svarbus atrankos įrankis trauminių pacientų kraujo transfuzijos poreikiui nustatyti.

Panaudojimas kitose klinikinės praktikos srityse. Kaip žinoma, įvykus galvos smegenų traumai sužalojimui arba dėl ligos sukkelto smegenų pažeidimo

gali išsivystyti smegenų kraujotakos autoreguliacijos sutrikimai. Smegenų AIDS gali būti vienu iš patikimų duomenų apie smegenų autoreguliaciją sekimo metodu. Tai neinvazinis, tęstinis monitoravimo būdas. Šis metodas aktyviai tiriamas daugelyje klinikinių tyrimų ir gali būti ateities neinvaziniu smegenų išemijos nustatymo pagrindiniu būdu. [32] Tyrimai su gyvūnais parodė, kad smegenų oksimetrijos jutikliai taip pat gali rasti progresuojančią nugaros smegenų išemiją po tarpšonkaulinės arterijos perrišimo. [27] Pastarųjų metų klinikinių tyrimų rezultatai parodė sąsajas tarp nugaros smegenų perfuzijos per lumbalinį smegenų skysčio drenažą ir $rSaO_2$, kuri registruota jutiklius uždėjus liemens plote virš nugaros smegenų pacientui, kuriam buvo atliekamas endovaskulinis torakoabdominalinis stentavimas [31]. Šioje srityje dirbantys mokslininkai siūlo sustiprinti smegenų ir audinių deguonies saturacijos stebėsenos reikšmę.

APIBENDRINIMAS

Pagrindiniai AIDS privalumai yra neinvazyvumas, tęstinumas bei galimybė stebėti smegenų deguonies saturacijos pokyčius realiu laiku. Tobulinant technines AIDS prietaisų charakteristikas ir didinant matavimo jautrumą bei specifiškumą išeminiams smegenų audinio pokyčiams, galima labai padidinti AIDS metodo pritaikymą klinikinėje praktikoje. Tačiau ne mažiau svarbu yra ir sugebėti tinkamai interpretuoti gaunamus duomenis, atsižvelgiant tiek į AIDS išmatuotus $rSaO_2$ pokyčius, tiek ir į kitus hemodinamikos parametrus. Nors tikslų ir patikimų hemodinamikos duomenų nauda yra neabejotina, svarbu atsižvelgti į tai, kad adekvati terapija gali būti skiriama tik tinkamai interpretavus gautus duomenis, todėl pasirinktos metodikos naudingumas visada pirmiausia priklauso nuo gydytojų komandos darbo kokybės.

Literatūra

1. Ancora G, Maranella E, Locatelli C, Pierantoni L, Faldella G. Changes in cerebral hemodynamics and amplitude integrated EEG in an asphyxiated newborn during and after cool cap treatment. *Brain Dev* 2009; 31: 442–4.
2. Beese U, Langer H, Lang W, Dinkel M. Comparison of near-infrared spectroscopy and somatosensory evoked potentials for the detection of cerebral ischemia during carotid endarterectomy. *Stroke* 1998; 29: 2032–7.
3. Benaron DA, Parachikov IH, Cheong WF, et al. Design of a visiblelight spectroscopy clinical tissue oximeter. *J Biomed Opt* 2005; 10: 44005.
4. Bhatia R, Hampton T, Malde S, et al. The application of near-infrared oximetry to cerebral monitoring during aneurysm embolization: a comparison with intraprocedural angiography. *J Neurosurg Anaesthesiol* 2007; 19: 97–104.

5. Bhutta AT, Ford JW, Parker JG, et al. Noninvasive cerebral oximeter as a surrogate for mixed venous saturation in children. *Pediatr Cardiol* 2007; 28: 34–41.
6. Buchner K, Meixensberger J, Dings J, Roosen K. Near-infrared spectroscopy—not useful to monitor cerebral oxygenation after severe brain injury. *Zentralbl Neurochir* 2000; 61: 69–73.
7. Calderon-Arnulphi M, Alaraj A, Amin-Hanjani S, et al. Detection of cerebral ischemia in neurovascular surgery using quantitative frequency-domain near-infrared spectroscopy. *J Neurosurg* 2007; 106: 283–90.
8. Carlin RE, McGraw DJ, Calimlim JR, Mascia MF. The use of nearinfrared cerebral oximetry in awake carotid endarterectomy. *J Clin Anesth* 1998; 10: 109–13.
9. Cho H, Nemoto EM, Yonas H, Balzer J, Sclabassi RJ. Cerebral monitoring by means of oximetry and somatosensory evoked potentials during carotid endarterectomy. *J Neurosurg* 1998; 89: 533–8.
10. Cohn SM, Nathens AB, Moore FA, et al. Tissue oxygen saturation predicts the development of organ dysfunction during traumatic shock resuscitation. *J Trauma* 2007; 62: 44–54, discussion 54–5.
11. De Blasi RA, Palmisani S, Boezi M, et al. Effects of remifentanyl-based general anaesthesia with propofol or sevoflurane on muscle microcirculation as assessed by near-infrared spectroscopy. *Br J Anaesth* 2008; 101: 171–7.
12. De Letter JA, Sie HT, Thomas BM, et al. Near-infrared reflected spectroscopy and electroencephalography during carotid endarterectomy—in search of a new shunt criterion. *Neurol Res* 1998; 20: S23–7.
13. Denault A, Deschamps A, Murkin JM. A proposed algorithm for the intraoperative use of cerebral near-infrared spectroscopy. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth* 2007; 11: 274–81.
14. Edmonds HL Jr, Ganzel BL, Austin EH, III. Cerebral oximetry for cardiac and vascular surgery. *Semin Cardiothorac Vasc Anaesth* 2004; 8: 147–66.
15. Ferrari M, Giannini I, Sideri G, Zanette E. Continuous non invasive monitoring of human brain by near-infrared spectroscopy. *Adv Exp Med Biol* 1985; 191: 873–82.
16. Germon TJ, Evans PD, Barnett NJ, Wall P, Manara AR, Nelson RJ. Cerebral near-infrared spectroscopy: emitter-detector separation must be increased. *Br J Anaesth* 1999; 82: 831–7.
17. Hans SS, Jareunpoon O. Prospective evaluation of electroencephalography, carotid artery stump pressure, and neurologic changes during 314 consecutive carotid endarterectomies performed in awake patients. *J Vasc Surg* 2007; 45: 511–5.
18. Hanson SJ, Berens RJ, Havens PL, Kim MK, Hoffman GM. Effect of volume resuscitation on regional perfusion in dehydrated pediatric patients as measured by two-site near-infrared spectroscopy. *Pediatr Emerg Care* 2009; 25: 150–3.
19. Hayashida M, Kin N, Tomioka T, et al. Cerebral ischaemia during cardiac surgery in children detected by combined monitoring of BIS and near-infrared spectroscopy. *Br J Anaesth* 2004; 92: 662–9.
20. Hirofumi O, Otone E, Hiroshi I, et al. The effectiveness of regional cerebral oxygen saturation monitoring using near-infrared spectroscopy in carotid endarterectomy. *J Clin Neurosci* 2003; 10: 79–83.
21. Jobsis FF. Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. *Science* 1977; 198: 1264–7.
22. Kaufman J, Almodovar MC, Zuk J, Friesen RH. Correlation of abdominal site near-infrared spectroscopy with gastric tonometry in infants following surgery for congenital heart disease. *Pediatr Crit Care Med* 2008; 9: 62–8.
23. Kurth CD, Steven JM, Nicolson SC. Cerebral oxygenation during pediatric cardiac surgery using deep hypothermic circulatory arrest. *Anaesthesiology* 1995; 82: 74–82.
24. Kurth CD, Steven JM, Nicolson SC, Chance B, Delivoria-Papadopoulos M. Kinetics of cerebral deoxygenation during deep hypothermic circulatory arrest in neonates. *Anaesthesiology* 1992; 77: 656–61.
25. Kurth CD, Thayer WS. A multiwavelength frequency-domain near-infrared cerebral oximeter. *Phys Med Biol* 1999; 44: 727–40.
26. Lai N, Saidel GM, Iorio M, Cabrera ME. Non-invasive estimation of metabolic flux and blood flow in working muscle: effect of blood-tissue distribution. *Adv Exp Med Biol* 2009; 645: 155–60.
27. LeMaire SA, Ochoa LN, Conklin LD, et al. Transcutaneous near-infrared spectroscopy for detection of regional spinal ischemia during intercostal artery ligation: preliminary experimental results. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2006; 132: 1150–5.
28. McCormick PW, Stewart M, Goetting MG, Dujovny M, Lewis G, Ausman JL. Noninvasive cerebral optical spectroscopy for monitoring cerebral oxygen delivery and hemodynamics. *Crit Care Med* 1991; 19: 89–97.
29. Murkin JM, Adams SJ, Novick RJ, et al. Monitoring brain oxygen saturation during coronary bypass surgery: a randomized, prospective study. *Anesth Analg* 2007; 104: 51–8.
30. Murkin JM, Bainbridge D, Novick R. In response. Do the data really support the conclusion? (letter). *Anaesth Analg* 2007; 105: 536–8.
31. Nicolaou G, Clarke C, Murkin JM, Badner N, Forbes T. Use of spinal near-infrared spectroscopy (NIRS) for monitoring spinal cord perfusion in endovascular repair of thoracoabdominal aneurysm. Proceedings, 13th Annual Outcomes Meeting, Accra Beach, Barbados, West Indies.
32. Nissen P, Pacino H, Frederiksen HJ, Novovic S, Secher NH. Near-infrared spectroscopy for evaluation of cerebral autoregulation during orthotopic liver transplantation. *Neurocrit Care* 2009; 11: 235–41.
33. Ogasawara K, Sakai N, Kuroiwa T, et al. Intracranial hemorrhage associated with cerebral hyperperfusion syndrome following carotid endarterectomy and carotid artery stenting: retrospective review of 4494 patients. *J Neurosurg* 2007; 107: 1130–6.
34. Ohmae E, Ouchi Y, Oda M, et al. Cerebral hemodynamics evaluation by near-infrared time-resolved spectroscopy: correlation with simultaneous positron emission tomography measurements. *Neuroimage* 2006; 29: 697–705.
35. Olsson C, Thelin S. Regional cerebral saturation monitoring with near-infrared spectroscopy during selective antegrade cerebral perfusion: diagnostic performance and relationship to postoperative stroke. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2006; 131: 371–9.
36. Phelps HM, Mahle WT, Kim D, et al. Postoperative cerebral oxygenation in hypoplastic left heart syndrome after the Norwood procedure. *Ann Thorac Surg* 2009; 87: 1490–4.
37. Pringle J, Roberts C, Kohl M, Lekeux P. Near-infrared spectroscopy in large animals: optical pathlength and influence of hair covering and epidermal pigmentation. *Vet J* 1999; 158: 48–52.
38. Redlin M, Koster A, Huebler M, et al. Regional differences in tissue oxygenation during cardiopulmonary bypass for correction of congenital heart disease in neonates and small infants: relevance of near-infrared spectroscopy. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2008; 136: 962–7.
39. Rossi M, Tirota CF, Lagueruela RG, Madril D. Diminished Blalock–Taussig shunt flow detected by cerebral oximetry. *Paediatr Anaesth* 2007; 17: 72–4.

40. Rothwell PM, Eliasziw M, Gutnikov SA, et al. Analysis of pooled data from the randomised controlled trials of endarterectomy for symptomatic carotid stenosis. *Lancet* 2003; 361: 107–16.
41. Sakaguchi G, Komiya T, Tamura N, et al. Cerebral malperfusion in acute type A dissection: direct innominate artery cannulation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2005; 129: 1190–1.
42. Santo KC, Barrios A, Dandekar U, Riley P, Guest P, Bonser RS. Near-infrared spectroscopy: an important monitoring tool during hybrid aortic arch replacement. *Anaesth Analg* 2008; 107: 793–6.
43. Sato S, Kawase T, Harada S, Takayama H, Suga S. Effect of hyperosmotic solutions on human brain tumour vasculature. *Acta Neurochir (Wien)* 1998; 140: 1135–41 discussion 1141–2.
44. Slater JP, Guarino T, Stack J, et al. Cerebral oxygen desaturation predicts cognitive decline and longer hospital stay after cardiac surgery. *Ann Thorac Surg* 2009; 87: 36–44, discussion 44–5.
45. Smith J, Bricker S, Putnam B. Tissue oxygen saturation predicts the need for early blood transfusion in trauma patients. *Am Surg* 2008; 74: 1006–11.
46. Tortoriello TA, Stayer SA, Mott AR, et al. A noninvasive estimation of mixed venous oxygen saturation using near-infrared spectroscopy by cerebral oximetry in pediatric cardiac surgery patients. *Paediatr Anaesth* 2005; 15: 495–503.
47. van den Brand JG, Verleisdonk EJ, van der Werken C. Near infrared spectroscopy in the diagnosis of chronic exertional compartment syndrome. *Am J Sports Med* 2004; 32: 452–6.
48. Vets P, ten Broecke P, Adriaensens H, Van Schil P, De Hert S. Cerebral oximetry in patients undergoing carotid endarterectomy: preliminary results. *Acta Anaesthesiol Belg* 2004; 55: 215–20.
49. Wang L, Yoshikawa T, Hara T, Nakao H, Suzuki T, Fujimoto S. Which common NIRS variable reflects muscle estimated lactate threshold most closely? *Appl Physiol Nutr Metab* 2006; 31: 612–20.
50. Ward KR, Ivatury RR, Barbee RW, et al. Near-infrared spectroscopy for evaluation of the trauma patient: a technology review. *Resuscitation* 2006; 68: 27–44.
51. Weiss M, Dullenkopf A, Kolarova A, Schulz G, Frey B, Baenziger O. Near-infrared spectroscopic cerebral oxygenation reading in neonates and infants is associated with central venous oxygen saturation. *Paediatr Anaesth* 2005; 15: 102–9.
52. Weiss M, Schulz G, Teller I, et al. Tissue oxygenation monitoring during major pediatric surgery using transcutaneous liver near-infrared spectroscopy. *Paediatr Anaesth* 2004; 14: 989–95.
53. Williams IM, Picton A, Farrell A, Mead GE, Mortimer AJ, McCollum CN. Light-reflective cerebral oximetry and jugular bulb venous oxygen saturation during carotid endarterectomy. *Br J Surg* 1994; 81: 1291–5.
54. Yamamoto A, Yokoyama N, Yonetani M, Uetani Y, Nakamura H, Nakao H. Evaluation of change of cerebral circulation by SpO₂ in preterm infants with apneic episodes using near-infrared spectroscopy. *Pediatr Int* 2003; 45: 661–4.
55. Yamamoto K, Komiya T, Miyata T, et al. Contralateral stenosis as a risk factor for carotid endarterectomy measured by near-infrared spectroscopy. *Int Angiol* 2004; 23: 388–93.
56. Yamamoto K, Miyata T, Nagawa H. Good correlation between cerebral oxygenation measured using near infrared spectroscopy and stump pressure during carotid clamping. *Int Angiol* 2007; 26: 262–5.
57. Yoshitani K, Kawaguchi M, Miura N, et al. Effects of hemoglobin concentration, skull thickness, and the area of the cerebrospinal fluid layer on near-infrared spectroscopy measurements. *Anaesthesiology* 2007; 106: 458–62.
58. Al-Rawi PG, Smielewski P, Kirkpatrick PJ (2001) Evaluation of a near-infrared spectrometer (NIRO 300) for the detection of intracranial oxygenation changes in the adult head. *Stroke* 32:2492–2500.
59. Buchner K, Meixensberger J, Dings J, Roosen K (2000) Near-infrared spectroscopy—not useful to monitor cerebral oxygenation after severe brain injury. *Zentralbl Neurochir* 61:69–73.
60. Gatto R, Hoffman W, Mueller M, Flores A, Valyi-Nagy T, Charbel FT (2006) Frequency domain near-infrared spectroscopy technique in the assessment of brain oxygenation: a validation study in live subjects and cadavers. *J Neurosci Methods* 157:274–277.
61. Gomersall CD, Joynt GM, Gin T, Freebairn RC, Stewart IE (1997) Failure of the INVOS 3100 cerebral oximeter to detect complete absence of cerebral blood flow. *Crit Care Med* 25:1252–1254.
62. Holzschuh M, Woertgen C, Metz C, Brawanski A (1997) Dynamic changes of cerebral oxygenation measured by brain tissue oxygen pressure and near-infrared spectroscopy. *Neurol Res* 19:246–248.
63. Kakahana Y, Matsunaga A, Tobo K, Isowaki S, Kawakami M, Tsuneyoshi I, Kanmura Y, Tamura M (2002) Redox behavior of cytochrome oxidase and neurological prognosis in 66 patients who underwent thoracic aortic surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 21:434–439.
64. Nemoto EM, Yonas H, Kassam A (2000) Clinical experience with cerebral oximetry in stroke and cardiac arrest. *Crit Care Med* 28:1052–1054.
65. Subbaswamy A, Hsu AA, Weinstein S, Bell MJ (2009) Correlation of cerebral near-infrared spectroscopy (cNIRS) and neurological markers in critically ill children. *Neurocrit Care* 10:129–135.
66. Schwarz G, Litscher G, Kleinert R, Jobstmann R (1996) Cerebral oximetry in dead subjects. *J Neurosurg Anaesthesiol* 8:189–193.

NEAR-INFRARED SPECTROSCOPY AS AN INDEX OF BRAIN AND TISSUE OXYGENATION

Alina Vilkė, Dalia Bieliauskaitė, Sandra Baužaitė, Diana Bilskienė, Andrius Macas, Edmundas Širvinskas, Arimantas Tamašauskas

Summary

Key words: brain, ischaemia, oximetry, oxygen, saturation.

Cerebral hypoxia is a major contributor to poor neurologic outcome in a variety of clinical cases but its detection remains problematic. Measurement of cerebral oxygenation is widely used to assess the balance between cerebral metabolic supply and demand although standard bedside methods of measuring cerebral oxygenation have significant limitations. Near-infrared spectroscopy (NIRS) is a noninvasive bedside technology that offers the potential for cerebral monitoring over multiple regions of interest. The technique of NIRS is based on the principle of light attenuation by the chromophores oxyhaemoglobin (HbO₂), deoxyhaemoglobin (Hb) and cytochrome oxidase. Changes in the detected light levels can therefore represent changes in concentrations of these chromophores. The clinical availability of non-invasive NIRS-based cerebral oximetry devices represents a potentially important development for the detection of cerebral ischaemia. This review provides a synopsis of the mode of operation, current limitations and confounders, clinical applications, and potential future uses of such NIRS devices.

Correspondence to: vilkealina@gmail.com

Gauta 2011-08-04