

Možnosti laserové dopplerovské anemometrie (LDA) při zjištění krevních elementů v peritoneálním roztoku

The possibilities of Laser Doppler Anemometry (LDA) in finding out the number of blood elements in a discharged peritoneal solution

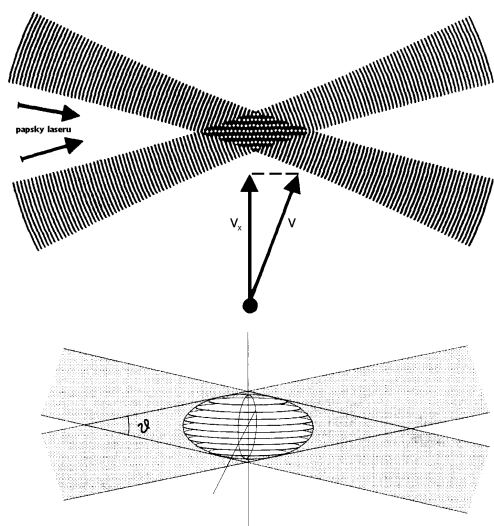
Zubík P., Ševela K., Svojanovský J., Zharfbin A.

Summary: Peritoneal dialysis is a therapeutical method used for removing harmful metabolites from an organism of a patient with irreversible renal failure. In this method the so-called peritoneal solution is applied repeatedly into the abdominal cavity (peritoneum). Besides a number of advantages the main disadvantage of this method is possible bringing an infectious contamination that is accompanied with the presence of blood elements in the discharged peritoneal solution. Early identification an infection is of principal importance for subsequent therapeutical strategy. The contribution describes the beginning of research into the utilization of LDA for finding out the number of blood elements in discharged peritoneal solution.

1. Úvod

Peritoneální dialýza je léčebná metoda, kterou lze z organismu nemocných, s nevratným selháním ledvin, odstranit škodlivé zplodiny látkové výměny. Při této metodě je do břišní dutiny (peritonea) nemocného opakovaně přiváděn takzvaný peritoneální roztok. Vedle řady předností je u této metody hlavní nevýhodou možnost zavlečení infekční nákazy. Včasné rozpoznání infekční nákazy má zásadní význam pro následnou léčebnou strategii.

Nákaza je provázena přítomností krevních elementů (bílých krvinek) ve vypouštěném peritoneálním roztoku. Pokud by tyto částice vykazovaly takové optické vlastnosti, aby mohly být zdrojem signálu pro LDA, mělo by být možno (za jinak konstantních podmínek) z přijímaného datového tempa usuzovat na četnost výskytu sledovaných částic.



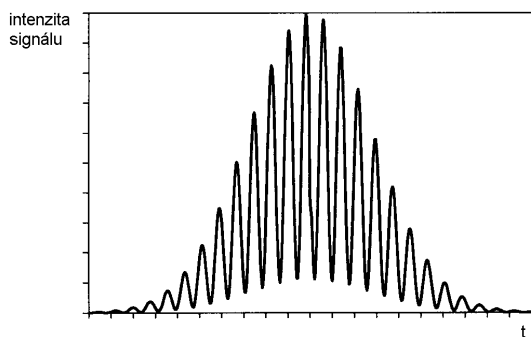
Obr. 1 Interferenční model LDA

2. Princip LDA

Pro velmi stručné připomenutí principu LDA je možno použít následující popis interferenčního modelu. Na horní části obr. 1 je schematicky naznačeno sčítání a odčítání rovinných vln dvou interferujících koherentních svazků paprsků laseru. Vzdálenost vzniklých rovin, běžně je v jednotkách mikrometru, je závislá pouze na úhlu mezi svazky n a vlnové délce světla λ ve svazcích. Stabilita tohoto rastru, daná stabilitou vlnové délky laserového záření, je základem tvrzení, že LDA je absolutní měřidlo a tedy není třeba jej kalibrovat. Vzhledem k tomu, že laserové svazky mají kruhový průřez a gaussovský průběh intenzity v příčném řezu, má skutečný prostor, v němž dojde k interferenci, tvar podobný rotačnímu elipsoidu, tak jak je naznačeno v dolní části obr. 1.

Ing. Pavel Zubík, Ph.D.: Ústav vodních staveb – Laboratoř vodohospodářského výzkumu (LVV), Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně; Veveří 95, 662 37 Brno; tel.: 541 147 286, fax: 541 147 288, e-mail: Zubik.P@fce.vutbr.cz.

Doc. MUDr. Kamil Ševela, CSc., MUDr. Jan Svojanovský, MUDr. Asad Zharfbin: II. interní klinika, Fakultní nemocnice u svaté Anny v Brně; Pekařská 53, 656 91 Brno; tel.: 543 182 257, fax: 543 182 307, e-mail: sevela.k@volny.cz



Obr. 2 Dopplerův zákmit

Projde-li vhodná částice tímto prostorem, nazývaným též optická sonda, vyšle do okolí světelný signál úměrný složce její rychlosti v_x , ležící v rovině paprsků a kolmé na osu optické soustavy, tedy složce kolmé na interferenční roviny, viz horní část obr. 1. Světelná intenzita přijatého signálu (obr. 2) od průchodu jedné částice optickou sondou (nazývá se Dopplerův zákmit) je závislá na mnoha faktorech, avšak pro stanovení rychlosti unášené částice je, v případě měřicí metody LDA, podstatná pouze zjištěná frekvence vzrůstu

a poklesů intenzity světla v příslušném Dopplerově zákmitu.

3. Zvolený postup

Pro potvrzení, případně vyvrácení, výše zmíněné hypotézy byly vytčeny dvě základní etapy. Cílem první etapy bylo zjištění, zdali částice vyskytující se ve vypouštěném peritoneálním roztoku jsou za daných podmínek (zásadním problémem mohou být optické vlastnosti použitých plastových hadiček sterilních setů) schopny poskytnout signál pro LDA a jestli se nějaké částice poskytující signál pro LDA nevyskytují již v napouštěném peritoneálním roztoku (což by mohlo významně potlačit vypovídací schopnost navrhované metody). Cílem druhé etapy bude zjištění, zdali existuje obecně platná a statisticky dostatečně průkazná závislost mezi přijímaným datovým tempem LDA měření (za definovaných podmínek) a četností výskytu sledovaných částic.

4. Přípravné práce

Na pracovišti LVV byla sestavena optická souprava pro jednosložkové, „šiftované“ měření dopřednou metodou s He-Ne laserem o výkonu 15 mW (tento laser nemá aktivní chlazení které by mohlo být zdrojem významně rušivého hluku a hygienicky nepřijatelného víření prachu v nemocničním prostředí). Dále byl zhotoven přípravek pro opakovatelně dostatečně přesné, rychlé a sterilitu nenarušující upevnění hadičky (kterou protéká vypouštěný roztok) do místa průsečíku laserových svazků. Hadička má vnitřní průměr 5 mm a tloušťku stěny 1 mm. Na základě zkušeností s podobnými měřeními v malých prostorech byla zvolena hlavní spojná čočka osvětlovacího systému s krátkou ohniskovou vzdáleností $f = 120$ mm. Celkové uspořádání osvětlovací soupravy s daným typem laseru vytváří optickou sondu o průměru přibližně 0,1 mm a délce (ve směru kolmém na směr proudění) přibližně 0,4 mm. Interferenční roviny jsou od sebe vzdáleny 1,3 μm .

Praktickým testováním bylo zjištěno, že materiál plastových hadiček jednoho z používaných typů setů je dostatečně průhledný, aby bylo možno měřit uvnitř rychlost proudění pomocí LDA a že v čistém peritoneálním roztoku, připraveném ve sterilním setu pro dialýzu, se nevyskytují částice použitelné pro LDA. Za daných předpokladů bylo možno přistoupit k měřením vypouštěného peritoneálního roztoku při naprosto reálné standardní situaci s několika pacienty.

5. Měření vypouštěného peritoneálního roztoku

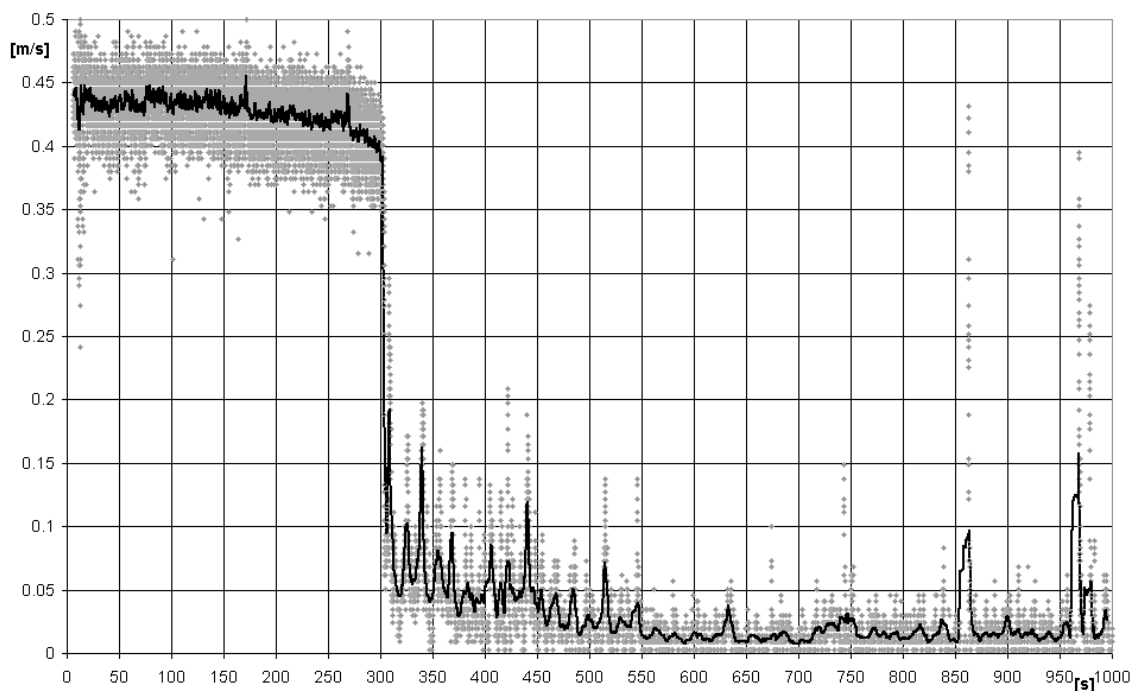
Po přemístění celé měřicí soupravy na nemocniční pracoviště byla provedena kontrola nastavení přijímací optiky fotonásobiče za pomoci přípravku (příslušná hadička ze setu s náplní vody s částicemi používanými pro LDA měření v laboratoři). Tato kontrola umožnila následně provést záznam celého procesu vypouštění bez ztráty počátku děje. Vypouštění roztoku trvá



**Obr. 3 Měřicí souprava na pracovišti
II. interní kliniky**

několikasekundová perioda, pravděpodobně je to dechový rytmus pacienta. Druhou rozkolísanou fází zřejmě způsobuje postupné uvolňování roztoku ze vzdálenějších míst v břišní dutině.

deset až dvacet minut a za tuto dobu bylo při každém pokusu zaznamenáno několik desítek tisíc dat. Na obr. 4 je příklad jednoho záznamu vypouštění, na vodorovné ose je doba od počátku vypouštění v sekundách a na svislé ose rychlost proudění v metrech za sekundu. Každá šedá tečka je vyhodnocená rychlost od jedné zaznamenané částice. Proložená plná čára nám ukazuje časový průběh lokálně středních hodnot rychlostí.

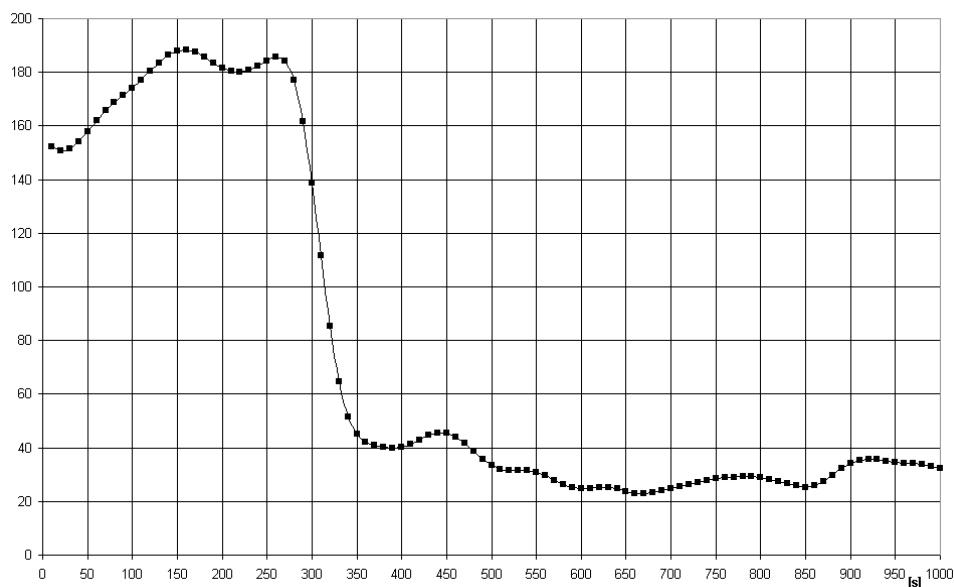


Obr. 4 Příklad časového průběhu vypouštění peritoneálního roztoku

6. Zpracování naměřených dat

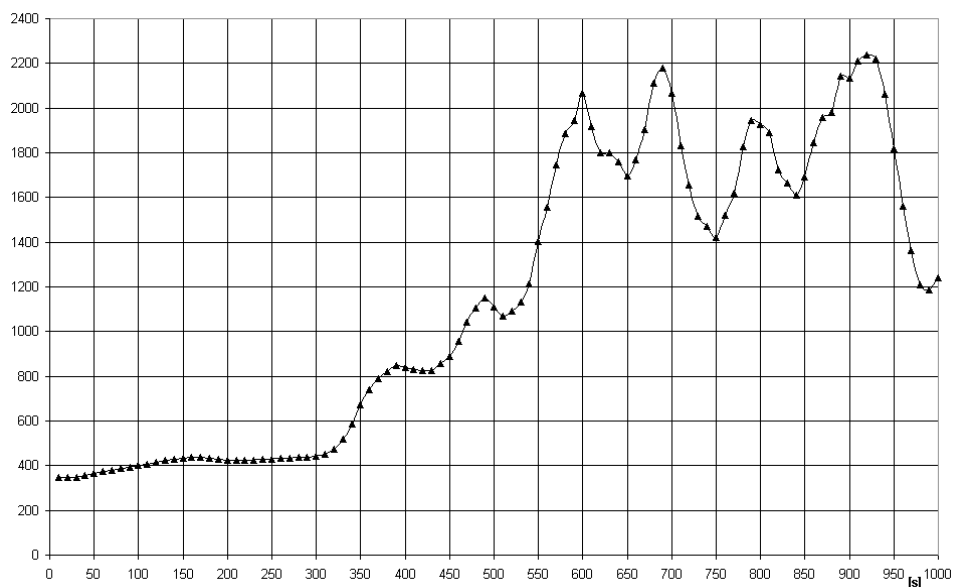
Použité LDA zařízení poskytuje standardní výstup z jednoho měření v podobě řady dvojic údajů o časovém okamžiku od počátku měření a vyhodnocené rychlosti částic tak, jak postupně procházely přes optickou sondu. Každá zaznamenaná řada byla rozdělena na zvolené desetisekundové intervaly a pro tento účel zhotoveným programem bylo spočítáno, kolik částic, procházejících optickou sondou, bylo zaznamenáno v jednotlivých intervalech. Výstupem je, na obr. 5 uvedený, časový průběh datového toku LDA měření.

Pro posouzení četnosti výskytu částic v objemové jednotce vypouštěného roztoku je nutno absolutní datové tempo relativizovat podle rychlosti. Proto počty částic, zaznamenané v již uvedených zvolených intervalech, byly poděleny příslušnou střední hodnotou rychlosti v intervalu. Pro lepší přehlednost časového trendu byly ještě před podělením obě řady statisticky



Obr. 5 Příklad časového průběhu tempa přijímaných dat

vyhlazeny. Na obr. 6 je příklad popsaneho zpracování, odpovídající záznamu na obr.4. Hodnotu na svislé ose je nutno brát pouze jako srovnávací parametr platný za daných podmínek a stanovení jeho vztahu ke skutečné četnosti výskytu sledovaných částic ve vypouštěném peritoneálním roztoku bude předmětem dalšího výzkumu.



Obr. 6 Příklad časového průběhu relativního množství částic v objemové jednotce

7. Závěr

Doposud provedené práce posloužily k prvnímu seznámení se s daným problémem a kromě odpovědi na nejzákladnější otázky otevřely celou řadu nových otázek. Například vzhledem k tomu, že účelem měření není zjistit tvar rychlostního profilu, ale zaregistrovat četnost výskytu částic v roztoku protékajícím celým průřezem hadičky (bez traverzování s optickou sondou), jeví se jako podstatně vhodnější použití delší ohniskové vzdálenosti hlavní čočky. Toto povede na vytvoření větší optické sondy s větší vzdáleností interferenčních rovin (blížíci se velikosti sledovaných částic). Je zde ovšem riziko poklesu intenzity světla v optické sondě a následně poklesu intenzity světla odraženého od částic pod zaregistrovatelnou úroveň.