

SOTE Kísérleti Kutató Laboratorium és BME Automatizálási
Tanszék

Korrelációfüggvények alkalmazása a vérkeringési
rendszer analízisében

Monos Emil, Szücs Béla

A korrelációs függvényanalízisben /Csáki 1966/ rejlő lehetőségeket két fő irányban szeretnénk gyümölcsöztetni a vérkeringéskutatás vonalán: az egyik a direkt jelelemzés, a másik pedig a dinamikus rendszerelemzés területe.

A jelelemzés a korrelációfüggvények több előnyös tulajdonságára támaszkodhat. Az autokorrelációfüggvény a nehezen áttekinthető biogörbét, a hagyományos biometriai módszerekhez képest, sok információt számbavevő tömör indexként jellemzi /különösen olyan esetekben lehet ez hasznos, ahol korlátozott megfigyelési idő áll rendelkezésre/; lehetővé teszi a rejtett periodicitások és a sztohasztikus komponens kiemelését, kvantitatív meghatározását; hatékonyan alkalmazható a folyamatok stacionárius jellegének elemzésére; módot ad a sztohasztikus jelek teljesítménysűrűség-spektrumainak kiszámítására. A keresztkorreláció-függvénnyel kimutatható a véletlen folyamatok közötti kauzális kapcsolat; lehetőséget ad gyors jelek propagációs idejének nagy pontosságú mérésére is.

A korrelációfüggvényekkel végrehajtható lineáris dinamikus rendszerelemzés /sztohasztikus identifikáció/ konvolúciós integrálegyenlettel kifejezhető egyik alap-összefüggése /Csáki 1966/:

$$\varphi_{bk}/\tau/ = y_{bk}/\tau/ * \varphi_{bb}/\tau/$$

ahol $\varphi_{bk}/\tau/$ a rendszer bemenő- és kimenőjelének keresztkorreláció-függvénye, $y_{bk}/\tau/$ a rendszer súlyfüggvénye, $\varphi_{bb}/\tau/$ pedig a bemenőjel autokorreláció-függvénye. A súlyfüggvény a rendszerdinami-

kát leíró matematikai modell; Laplace-transzformáltját átviteli függvénynek nevezik. Másodrendű lineáris rendszer esetén:

$$\mathcal{L} \{y/\tau\} = Y/s = \frac{A}{1 + 2\zeta T_s s + T^2 s^2} \cdot$$

Az átviteli függvény számlálója, az A átviteli tényező, a bemenő- és kimenőjel állandósult állapotbeli viszonyát fejezi ki. A nevező a bemeneti hatásra létrejövő tranziens kimeneti változást adja meg /másodrendű késés/, ahol ζ a csillapítási tényező, T pedig az idő-állandó. A rendszeridentifikáció eredményeként tehát az állandósult állapotú válaszok mellett, a tranziens változásokat is kvantitatíve meg lehet határozni. A sztohasztikus módszer külön előnye, hogy a ki- és bemeneti jellemzők "spontán" ingadozásainak elemzésén is alapulhat, külön beavatkozást, "gerjesztést" nem igényel, a rendszer aktuális munkapontja körüli változásokat jellemzi. Az elemi rendszerdinamika ismeretében további lehetőségek nyílnak a szabályozási viszonyok tanulmányozására /pl. a visszacsatolás hatásának kvantitatív elemzésére/.

A fenti módszernek több kötöttsége is van: elvileg csak lineáris rendszerre alkalmazható; a vizsgált rendszert koncentrált paraméterével helyettesíti; megköveteli, hogy az analízis alapjául szolgáló jelek stacionerek és ergodikusak legyenek. Korábbi kísérleti eredmények azt mutatják, hogy a vérkeringési rendszerben a nyomás-áramlás jelleggörbék a normál vérnyomás körüli elég széles tartományban közelítően lineárisak; dinamikai kapcsolatuk másodrendű rendszerrel kielégítően helyettesíthető.

Eddigi kísérleteink során elemeztük az I-rendű /pulzusszinkron/ és III-rendű /Traube-Hering-Mayer/ vérnyomáshullámok statisztikai tulajdonságait. A vérkeringési jellemzők 0,2 Hz alatti komponenseinek analízise alapján meghatároztuk a mellékvese vérkeringés-dinamikájának közelítő matematikai modelljét. A modellezést oly módon végeztük, hogy az artériás vérnyomást bemenőjelnek, a vénás kiáramlást kimenőjelnek tekintve, kétenergiatárolós taggal közelítettük a vizsgált

rendszert. /Szűcs, Monos, 1968, 1969. 1970. a,b,c,; Monos. Szűcs 1967, 1970 a,b/.

A pulzusszinkron vérnyomáshullámok statisztikai sajátosságait autokorrelogram-sorozatok alapján tanulmányoztuk altatott kutyákon. Az aorta asc.-ben és az a.femoralisban felvett vérnyomásjeleket 40, ill. 200 s megfigyelési időben real-time korrelátoron /SAIP, CTR-100/ analizáltuk és egyidejűleg poligráfon regisztráltuk. Keresztkorreláció-függvények alapján meghatároztuk a nyomáshullámok terjedési sebességét is. Megállapítottuk, hogy 10 perces nagyságrendű szakaszokra a vérnyomáshullámok jó közelítéssel stacionáriusak lehetnek. Ritkán fordult elő olyan nyomásgörbe szakasz, amely jelösszetevők szempontjából determinisztikusnak minősült, azaz sztohasztikus komponenst nem tartalmazott detektálható arányban. Látszólag kisfokú arrythmiát, vagy pulzusnyomás-ingadozást már kifejezett sztohasztikus összetevőként lehetett kimutatni az autokorrelogrammokon, mely közelítően 2 s eltolási idővel átlagolódtott ki. A nyomáshullámok terjedési idejét ± 1 ms pontossággal határoztuk meg keresztkorrelogrammok alapján. A pulzushullámok propagációjának sebessége az aorta mentén 7,3-13,5 m/s volt kísérleteinkben.

A III. rendű vérnyomáshullámok elemzését NORATOM statisztikai analóg számítógéppel /ISAC/, altatott, immobilizált kutyákon végeztük. Az arteriális vérnyomással szinkronban a mellékvese vénásoldali véráramlását is regisztráltuk az ISAC mágnesszalagján, ill. poligráfon. A pulzusszinkron ingadozásokat aluláteresztő szűrővel kiszűbeltük ki. A mérések során mesterséges lélegeztetést alkalmaztunk. Megállapítottuk, hogy a III. rendű vérnyomáshullámok lényegesen nagyobb súlyal tartalmaznak sztohasztikus összetevőt, mint az I. rendűek. A sztohasztikus és determinisztikus összetevők arányát jelentős mértékben befolyásolják a szervezet homeosztázisát terhelő beavatkozások, mint perifériás idegátmeteszések, hypophysectomia, vagy nagyfokú vérvesztés; az esetek többségében sztohasztikus összetevő arányának növekedését tapasztaltuk. Az artériális vérnyomás és a mellékvese vénás kifolyás ingadozásaira nézve a keresztkorreláció-függvények kauzális jellegű kapcsolatot tükröztek. A korrelációfüggvények ismeretében identifikáltuk

a nyomás-áramlás másodrendű átviteli függvényét. A dekonvolúciót közelítő eljárással, analóg számítógépen végeztük el. A nyomás-áramlás dinamika csillapítási tényezője a mellékvese esetében minden esetben 1 alatt volt, tehát nyomásváltozás hatására oscilláció lép fel a vénás kiáramláson. Más eredményeinkkel összhangban Monos és mtsi 1970/ ez is amellet szól, hogy a mellékvesében a kapilláris véráramlással párhuzamosan shuntkeringés van.

Összefoglalóan megállapíthatjuk, hogy a korreláció-függvény-analízis és a sztohasztikus rendszeridentifikáció módszere hatékonyan alkalmazható a vérkeringési rendszer dinamikájának elemzésére.

I R O D A L O M

Csáki F.: Szabályozások dinamikája. Akadémiai Kiadó,
Budapest, /1966./

Monos E., Biró Zs., Kovách A.G.B.: The acute effect of hypophysectomy on tissue blood flow and oxygen consumption of the adrenal cortex and medulla in dogs. Acta physiol. Acad. Sci. hung. 36: 379-389, /1969./

Monos E., Szücs B.: Study on dynamic properties of changes in adrenal blood flow and arterial pressure during stochastic peripheral nerve stimulation. Acta physiol. Acad. Sci. hung. suppl. 32: 93, /1967./

Monos E., Szücs B.: Korrelációanalízis alkalmazása a szívrrendszer vizsgálatában. Kisérl. Orvostud. /1970 a, /
Közlés alatt.

Monos E., Szücs B.: Statistical properties of slow changes in blood pressure and flow in the dog. In: Colloquium on Mathematical Modelling and Computersimulation of Pathophysiological Processes, Halle, /1970 b, /
Közlés alatt.

- Szücs B., Monos E.: A vérkeringési rendszer irányítási folyamatainak sztohasztikus vizsgálata. Orvos és Technika 6: 143-146, /1968./
- Szücs B., Monos E.: Vérkeringési rendszer elemzése sztohasztikus módszerrel, analóg korrelátor felhasználásával. Mérés és Automatika 17: 182-187, /1969./
- Szücs B., Monos E.: Circulatory system analysis by a stochastic method using an analogue correlator. Internat. J. Bio-Med. Computing 1: 47-62, /1970 a./
- Szücs B., Monos E.: On statistical studies of processes in blood flow system. /In Russian/ In: System-identification and Apparatura for Statistical Investigations. /Ed. Pugatsew, V.S./, "Nauka" Publ. Moscow. 80-84, /1970 b./
- Szücs B., Monos E., Csáki F.: On a method for identification of the cardiovascular system. In: Identification and Process Parameter Estimation. Akademia Prague, 11,5: 1-7, /1970 c./