

OTKA K 67747 ZÁRÓJELENTÉS

Motoros szabályozás neuronális szinten és egy központi ritmusgeneráló hálózatban

1) A motoneuronok által fogadott reticulospinalis és propriospinalis kapcsolatok korrelatív vizsgálata felnőtt békában

Korábbi fiziológiai vizsgálatok szerint a gerincvelői végtagmozgató motoneuronok (MN) által fogadott individuális propriospinalis axon intraaxonális ingerlésekor a lumbális MN-okból intracellularis elektródával elvezett EPSP-ok amplitúdói két nagyságrendnyi tartományban (0.1 – 8.0 mV) szórnak, amin belül „kis” (<1.2 mV), és „nagy” (> 1.2 mV) amplitúdójú EPSP-okat produkáló axon - MN párokat különítették el. Ugyanakkor a cervicalis MN-ok által fogadott reticulospinalis kapcsolatokat tanulmányozva a reticulospinalis axon ingerlésekor a posztszinaptikus MN-ból mindig „kis” EPSP-t vezettek el.

E fiziológiailag mért eltérések magyarázatához a cervicalis és lumbális MN-ok által fogadott reticulospinalis és propriospinalis szinaptikus kapcsolatok eltéréseit és a posztszinaptikus MN-okat tanulmányoztuk morfológiai módszerekkel és számítógépes, morfológiailag nagy hűségű kábel modellekkel.

Főbb eredmények

1) A fiziológiai méréseket követően a kollaborációs partner által neurobiotinnal megjelölt MN-okat Intézetünkben Neurolucida segítségével térben rekonstruáltuk és az - ugyancsak jelölt - axon végződéseket a dendriteken jelöltük.

2) *Fénymikroszkópos szinten* a jelölt reticulospinalis axonok 6-7; a propriospinalisok 6-12, illetve 14-22 szoros appozíciót mutattak a posztszinaptikus dendritekkel a „kis”, illetve „nagy” EPSP-t mutató kapcsolatokban, mely appozíciók szómától mért távolsága rendre 160-1200 μm és 260-1780, illetve 35-1315 μm volt. *Elektronmikroszkópos szinten* a propriospinalis axonok szoros appozícióiban általában egy bouton alkotott egyetlen szinapszist. Három szoros appozícióban 2-2 boutonként találtunk, boutononként egy szinaptikus kapcsolattal. Az EM szinten identifikált propriospinalis kapcsolatok átlagos száma és távolsága 8 és 356 μm , illetve 5 és 1298 μm volt a „nagy” és „kis” EPSP-t mutató sejtek esetében.

3) A rekonstruált MN-ok morfológiáját leíró Neurolucida fájlok és a Neuron szimulator program (Duke University, USA) segítségével felépítettük a posztszinaptikus MN-ok szegmentális kábelmodelljeit, melyek tartalmazták a propriospinalis axonterminálisok által alkotott szinapsziszokat, melyeket az irodalomban elfogadott alfa függvény szerinti konduktanciaváltozással modelleztünk.

4) A szinaptikus konduktanciák kinetikáját a kísérletesen elvezetett unitary EPSP-okhoz való illesztéssel határoztuk meg. E szinaptikus konduktanciákban nem találtunk jelentős különbséget a propriospinalis kapcsolatokat fogadó „kis” és „nagy” EPSPs MN-okban.

5) A cervicalis és lumbális MN-okat (n=16) morfológiailag 12, elektrotónikus tulajdonságaikat 7 descriptorral leírva a discriminancia analízis a neuronokat szegmentálisan helyesen klasszifikálta és a szeparáció szignifikáns volt.

6) Vento-medialis irányban a cervicalis MN-ok dendritjei szignifikánsan nagyobbak voltak. Ez a lelet jól korrelál a ténnyel, hogy e dendritikus terület a tectospinalis pálya exkluzív végződési területe a cervicalis MN-okban és ez a pálya nem végződik a lumbális szegmentum MN-jain.

7) Eltérést találtunk a cervicalis és lumbális szegmentum végtagmozgató MN-jai között a dendritek elágazódási pontjainak térbeli eloszlásában is.

8) A somatopetalis dendritikus ingerületvezetés hatékonyságában is eltéréseket találtunk a cervicalis és lumbalis MN-ok között. Ezekhez a vizsgálatokhoz a számítógépes modellben minden MN esetében a dendritek több ezer pontjában áraminjekcióval, illetve konduktanciaváltozással azonos szinapszist modelleztünk és a posztszinaptikusan kialakuló, valamint ennek terjedése során a szómára eljutó PSP alakparamétereit (amplitúdó, emelkedési idő, félértékszélesség) vizsgáltuk, hogy a teljes dendritarborizáció ingerületvezetési tulajdonságait feltérképezhessük.

8i) A különböző dendritikus pontokból induló PSP-ok ingerületterjedését a "log attenuation" segítségével vizsgálva egy a szómától mért kritikus, 1500 μ m -es távolságot találtunk: Ettől közelebbi távolságokból induló és a szóma felé terjedő PSP-ok a cervicalis MN-okban, míg a távolabbról indulók a lumbalisokban gyengülnek kevesebbet.

8ii) Az 1500 μ m-es kritikus távolság léte, illetve a PSP gyengülések arányának fenti megfordulása a kritikus távolságban független a szóma-dendritikus inhomogenitás mértékétől és a teljes neuronellenállástól is.

8iii) A MN-ok két csoportját az (eltérő) méretüktől függetlenül is vizsgáltuk. Ehhez a somatopetalis feszültség- és áramtranszfer értékeket, illetve az EPSP alakparamétereket standardizáltuk. A transzfereket és az alakparamétereket a dendritek által fogadott szinapszisok három különböző háttéraktivitása (a dendritmembrán felületegységenkénti ellenállásának változtatásával modelleztük) mellett is megvizsgáltuk. A *steady-state* feszültségtranszferek alapján végzett cluster analízis a háttéraktivitás erősségétől függetlenül mindig elkülönítette a cervicalis és lumbalis szegmentum MN-jait. A steady-state áramtranszferek alapján azonban csak magas háttéraktivitás esetében különülnek el a MN-ok.

8iv) A *transziens szinaptikus aktivitás* (konduktanciaváltozás) hatására a posztszinaptikus membránban, illetve a szómán mérhető PSP amplitúdók aránya alapján a két MN populáció bármely háttéraktivitás esetében elkülönül, de a dendritikus és szomatikus PSP-ok emelkedési idejei és félértékszélességei nem tesznek különbséget a cervicalis és lumbalis szegmentum MN-jai között.

9) A lumbalis MN-ok morfoelektrotónikus transzformáltjai (a somatopetalis dendritikus ingerületterjedés során mért „log attenuations”) jobban eltértek az eredeti morfológiától, tehát a lumbalis szegmentumban a dendritek morfológiájából és a szinaptikus kapcsolatok szómától mért távolságából kevésbé következtethetünk a szinapszisok szómán mérhető hatékonyságára.

10) Elektronmikroszkópos vizsgálatok kimutatták, hogy a MN dendritek nem sima felszínűek, hanem kis kitüremkedésekkel (thorn) rendelkeznek, azonban ezek mérete és alakja a jól ismert „spine”-októl eltérő, s így funkciója is más lehet, amiről semmilyen irodalmi adat nincsen.

Az amplitúdó differenciáció lehetséges egyéb okait vizsgálva azt találtuk, hogy

10i) a thornok alakja, illetve a szinapszisok thornokhoz viszonyított helyzete jelentősen befolyásolhatja a kialakuló „unitary” EPSP-k nagyságát és

10ii) a szómához közeli propriospinalis kapcsolatokat fogadó „nagy”, EPSP-s MN-okban az időablak, melyben a propriospinalis axonok által adott szinapszisok által generált PSP-ok hatékonyan (nem nagyobb, mint 20%-os nem-lineáris komponenssel) szummálódnak mintegy kétszer szélesebb, mint a „kis” EPSP-t produkáló MN-okban. Ez azt jelenti, hogy a a PSP szummáció a „nagy” EPSP-t produkáló neuronokban jóval hatékonyabb lehet.

11) A cervicalis és lumbalis szegmentum végtagmozgató MN-jai között általunk talált különbségek azt is jelenthetik, hogy a gerincvelő különböző szegmentumaiban korábban megfigyelt eltérő motoros mintázat generáló képesség nem csak a gerincvelői központi interneuronális ritmusgeneráló hálózatok eltéréseire vezethető vissza, hanem részben az izmokat beidegző MN-ok *szegmentális* eltérései is magyarázhatják.

Publikációk: E témához kapcsolódóan a fentebb taglalt eredményeket összefoglaló *in extenso* közleményünk revised verziója bírálat alatt a BMC Neuroscience-nél. Ezen túlmenően egy további *in extenso* közlemény előkészületben, egy, a motoneuronok morfológiájáról írt könyvfejezetet közlésre elfogadtak, valamint öt kongresszusi absztrakt megjelent. (Részletesen a feltöltött közleményjegyzékben.)

2) A szinapszisok geometriai és funkcionális térben való eloszlásának korrelatív vizsgálata a központi idegrendszer neuronjaiban

A) A béka gerincvelő szürkeállománya transzverzális metszetben dorsalis, lateralis, ventro-lateralis és ventro-medialis mezőkre osztható az itt található dendritekkel szinaptizáló afferenseknek megfelelően. A lateralis motoros oszlopban elhelyezkedő végtagmozgató MN-ok dendrit arborizációja mindegyik mezőben megtalálható, ezért azok összehasonlítása a dendritikus mezők szintjén is indokolt. A cervicalis és lumbalis szegmentumokban elhelyezkedő és a mellső és hátsó végtagokat mozgató MN-ok az előző pontban részletezett reticulospinalis és propriospinalis axonok posztszinaptikus target neuronjai, így e neuronok morfoelektrotónikus összehasonlítása az 1) kutatási téma problematikájának megértéséhez is hozzájárulhat. Másrészt a cervicalis és lumbalis végtagmozgató MN-ok összehasonlítása hozzájárul a központi idegrendszeri neuronok lokalizáció függő morfofunkcionális vizsgálatához is.

Az elmúlt időszakban az iontoforetikus neurobiotinnal vagy cobalt-lysinnel feltöltött MN-okat 3-dimenzióban rekonstruáltuk. Mostani vizsgálatainkhoz a mezők határait, valamint a mezőkbe eső dendrit szakaszokat kijelöltük. Ezt követően a MN-ok szegmentális kábel modelljeiben - melyeket a NEURON szimulátor (Duke University, USA) segítségével alkottunk - a posztszinaptikus potenciálok (PSP) somatopetális transzfer tulajdonságait vizsgáltuk a dendriteken, aszerint, hogy melyik dendritikus mezőben generálódik a PSP és melyik gerincvelői szakaszon helyezkedik el a MN.

Főbb eredmények

Számítógépes szimulációk alapján:

1) Az azonos dendrit mezőkből induló PSP-ok esetében a sejttesten mért steady-state áram- és feszültségtranszferok – a lateralis mező kivételével - szignifikánsan nagyobbak voltak a cervicalis MN-okban a lumbalisokhoz képest (Mann-Whitney és t-teszt, $p < 10^{-13}$), ami a cervicalis MN-ok lokalizált inputra vonatkozó hatékonyabb ingerületvezetését tükrözi.

2) Tranziens, de azonos konduktanciaváltozással modellezett és azonos dendritikus mezőből induló szinaptikus inputok esetében a szómán mérhető PSP-ok amplitúdója, 10-90% emelkedési ideje és fél-érték szélessége nagyrészt helyesen klasszifikálta a MN-okat szegmentumok szerint.

3) A dendritek által fogadott, folyamatosan változó intenzitású szinaptikus konduktancia változások (szinaptikus háttéraktivitás) steady-state áram- és feszültségtranszferre gyakorolt hatását is tanulmányoztuk a két MN csoportban a dendritikus mezők szintjén is. Ezen szinaptikus háttéraktivitás modellezését a dendrit membrán felületegységenkénti ellenállásának (Rmd) változtatásával valósítottuk meg. Kontrol háttéraktivitásnak a steady-state áram- és feszültségtranszfer tanulmányozásánál használt $20000 \Omega\text{cm}^2$ -es dendrit membrán ellenállást tekintettük. A magas szinaptikus háttéraktivitást $5000 \Omega\text{cm}^2$ -re csökkentett Rmd-vel, míg az alacsony szinaptikus aktivitást $50000 \Omega\text{cm}^2$ -re növelt Rmd-vel szimuláltuk. A magasabb szinaptikus háttéraktivitás csökkentette, míg az alacsonyabb növelte a somatopetális áram- és feszültségtranszfer mindkét sejtcsoport összes mezőjében. A változás mértéke azonban szignifikáns különbségeket (t-test, $p < 0.05$) mutatott a MN-ok

szegmentális helyzete szerint: a szinaptikus háttéraktivitás emelkedése jelentősebben befolyásolta a lumbalis MN-ok dendritikus ingerületvezetését, a háttéraktivitás csökkenése pedig a cervicalisokét.

B) Egy általunk kidolgozott új módszer; a morfofunkcionális (morfoelektrotónikus és morfotemporalis) mátrixok segítségével elemeztük különböző központi idegrendszeri neuronok (béka gerincvelői végtagmozgató MN-ok, egér hippocampális piramis sejtek és kisagyi Purkinje sejtek, $n=15$) dendritfelszíneinek eloszlását (A MN-ok saját anyagunkból, a többi sejt internetes adatbázisból származik). A mátrixok megalkotásához a sejtek kompartmentális kábelmodelljeiben a dendritek különböző pontjaiból induló somatopetalis dendritikus ingerületvezetés során létrejövő PSP gyengüléseket és a számáig történő vezetéshez szükséges időket vizsgáltuk, valamint a modellezett szinapszisok számától való „path distance” távolságait mértük. Ilyen módon sejtenként több ezer szinaptikus pozícióból induló PSP terjedési viszonyait vizsgálva kiszámítottuk a morfofunkcionális mátrixokat.

A 10X10-es vagy 100X100-as morfofunkcionális (melyek alapvetően kétfélek; morfoelektrotónikus vagy morfotemporalis mátrix) mátrixban a számértékek (vagy szemléletesebben a színek) az adott geometriai és funkcionális helyzetű dendritek relatív felszínét (~fogadott szinapszisok számát) mutatja a dendritek összfelszínének (~összes dendritek által fogadott szinapszis) százalékában. Funkcionális helyzeten a dendritikus pozíció sejttesttől (pontosabban az axon eredési kúptól) mért funkcionális távolságát értjük, amit a szinapszis működése során generált PSP – számáig való terjedése közben bekövetkező – gyengülésével (morfoelektrotónikus mátrix), illetve a terjedéshez szükséges idővel (morfotemporalis mátrix) definiálunk. A morfofunkcionális mátrixban az egy sorban, de különböző oszlopokban szereplő százalékok az adott geometriai, de különböző funkcionális távolságban lévő dendritek felszíneit mutatja a teljes dendritfelszín százalékában. A mátrix egy oszlopába, de különböző sorokba írt százalékok pedig az adott funkcionális, de különböző geometriai távolságban található dendritfelszínt adja meg. A mátrixban szereplő értékek összege 100%, vagyis a dendritek összfelszíne.

A mátrixban szereplő számértékeknek színek kódokat megfelelően grafikusan szemléltethetővé vált a dendritek teljes felszínének geometriai eloszlása és a dendritikus szinapszisok által generált PSP-ok terjedési viszonyai közötti összefüggés. A módszer univerzális; alkalmas bármely neuron dendritfelszínének morfofunkcionális feltérképezésére és szemléltetésére, bármilyen passzív vagy aktív ion csatornák jelenlétében mind somatopetalis, mind somatofugalis ingerületvezetési irány esetében.

Főbb eredmények

1) A dendritfelszínének morfoelektrotónikus mátrixban való eloszlása minden neuronban igen inhomogén, de a neuron típusra jellemző mintázatot mutat. Cluster analízis technikával ugyanis kimutattuk, hogy a dendritfelszínének mátrixban való eloszlása alapján a vizsgált három neuron típus elkülöníthető. Ez az elkülönülés kifejezettebb a morfoelektrotónikus mátrixok esetében (ahol a szinapszis geometria pozíciója és az onnan induló PSP attenuációja közötti kapcsolatot vizsgáljuk), mint a morfotemporalis mátrixok esetében (ahol a geometriai helyzet és a PSP terjedéshez szükséges időt vizsgáljuk).

2) A jelentősen különböző neuron típusok és fajok ellenére, a dendriteloszlások több közös tulajdonságát figyeltük meg.

3) Amikor a dendritfelszínének eloszlását a geometriai és a funkcionális térben elkülönítve tanulmányoztuk (sor-, illetve oszlopösszegek a mátrixban) az eloszlások mindig unimodálisak voltak és a funkcionális eloszlás lényegében érzéketlen volt a háttér szinaptikus aktivitás változásaira, valamint a teljes sejt ellenállására.

- 4) Temporális szempontból a homogén, elektrotónikus szempontból pedig az inhomogén szóma-dendrit membrán esetében különböznek jelentősebben az idegsejtek.
- 5) A morfofunkcionális mátrixok használata jelentős segítség lehet a szinaptikus integrációs folyamatok tanulmányozásában, valamint a módszer alkalmas lehet ugyanolyan típusú ép és kóros neuronok összehasonlítására is, ami hozzájárulhat a morfológiai változások funkcionális jelentőségének jobb megértéséhez.

Publikációk: E témához kapcsolódóan a morfoelektrotónikus mátrixok módszerét és a fentebb összefoglalt eredményeket bemutató *in extenso* közleményünkhöz szükséges eredmények kb. 80%-a rendelkezésünkre áll, illetve az eddigi anyagból öt kongresszusi absztrakt már megjelent. (Részletesen a feltöltött közleményjegyzékben.)

3) Szinaptikus integráció és koordináció a béka (*Xenopus laevis*) embrió úszómozgásért felelős gerincvelői központi ritmusgeneráló hálózatában

Megalkottuk a béka embrió központi idegrendszerének reális hosszúságú számítógépes populációs modelljét a GENESIS program felhasználásával. A neuronhálózati modellben a neuronok száma és eloszlása, az axonok hossza, valamint a szinaptikus kapcsolatok típusa megfelel az experimentális morfológiai, fiziológiai és farmakológiai adatoknak. Ez a gerinces állatok első ilyen realiztikus modellje a szakirodalomban. Ebben, a béka embrió úszó mozgásáért felelős központi ritmusgeneráló hálózatban vizsgáltuk a koordinációs mechanizmusokat, a szinaptikus integrációt és azokat a feltételeket, melyek a rövid stimulusra létrejövő hosszán tartó úszási aktivitás létrejöttéhez szükségesek.

Főbb eredmények

- 1) Az úszómozgásra jellemző, a törzs két oldalán alternáló izomaktivitás csak akkor lehet önfenntartó, ha a gerincvelői serkentő interneuronok (IN) egy populációja rövid felszálló axonokkal is rendelkezik. (E felszálló axonok jelenlétét morfológiailag is bizonyították.)
- 2) Az úszómozgás során jellemző a rostro-caudalis (R-C) irányban a törzs mentén terjedő mechanikai hullám, amely a vízben előre hajtja az állatot. Az ennek megfelelő R-C késés az azonos oldali gerincvelői motoneuronok (MN) tüzelési aktivitásában csak akkor volt rekonstruálható populációs modellünkben, ha a serkentő premotor IN-ok eloszlása nem volt a gerincvelő mentén homogén, hanem R-C gradienst mutatott, valamint axonjaik rövidek voltak. (Ezek a tulajdonságok morfológiailag igazolódtak.)
- 3) A MN-ok tüzelési aktivitásában megfigyelhető R-C késés csökkent, ha a MN-ok és a premotor IN-ok között feedback serkentő szinaptikus kapcsolatok voltak. (Vannak fiziológiai kísérletek, melyek erre utalnak.)
- 4) Ezek a feedback kapcsolatok képesek intrasegmentalisan szinkronizálni a MN-ok tüzelési aktivitását.
- 5) A MN-ok közötti intrasegmentalis elektromos szinapszisok tovább szinkronizálják a MN-ok tüzelési aktivitását lokálisan, azonban a túl erős elektromos csatolás hatására a különböző gerincvelői szegmentumok közötti szinkronitás mértékében talált eltérések jelentősen nőhetnek. A különböző gerincvelői szegmentumok között a legkisebb szinkronitásbeli eltéréseket az elektromos szinapszisok 5000 Ω -os ellenállása esetében találtuk, amely megegyezik ezen ellenállás kísérletes adatok alapján becsült értékével.
- 6) Az 1-5 megállapítások nagymértékben függetlenek a neuronok membrán tulajdonságaitól, s így a koordinációs mechanizmusok elsősorban nem bonyolult celluláris, hanem neuronhálózati szinten determináltak, olyan egyszerű evolúciós rendező elvek szerint, mint inhomogén vs. homogén neuron eloszlás, vagy rövid vs. hosszú axon méret.

Publikációk: E témához kapcsolódóan a fentebb összefoglalt eredményeket *in extenso* közlemény formájában publikáltuk a J. Comput. Neurosci-ben. Ezen túlmenően két - már a kiadó által publikálásra elfogadott - könyvfejezetben összefoglaltuk a fiatal *Xenopus* embrió úszómozgásért felelős központi ritmusgeneráló hálózatában a motoros szabályozás kutatásában elért főbb eredményeket, illetve a gerincesekben áttekintettük a gerincvelői motoros hálózatok szerveződési elveit.

A pályázatban szereplő kutatók közül időközben Szokol Karolina elhagyta intézetünket. Helyette a projekt egyes részfeladatainak kivitelezésébe másokat vontunk be. Stelescu András a projekt utolsó szakaszában egyetemünkön belül másik tanszékre távozott és bár továbbra is részt vett a projekt megvalósításában távozása lassította a munkát.

A költségterv: nincs indokolandó eltérés.

Publikációk

In extenso

Folyóiratcikkek

E. Wolf, S.R. Soffe, A. Roberts: Longitudinal organization and coordination in a simple vertebrate: a continuous, semi-quantitative computer model of the central pattern generator for swimming in young frog tadpoles.

J. Comput. Neurosci. 27(2):291-308. 2009.

A. Stelescu, J. Sümegi, I. Wéber, A. Birinyi, E. Wolf: Somato-dendritic morphology and dendritic signal transfer properties differentiate between fore- and hindlimb innervating motoneurons in the frog *Rana esculenta*.

Revised version under review at BMC Neuroscience, 2011.

A. Stelescu, I. Wéber, A. Birinyi, E. Wolf: Two types of propriospinal axon – motoneuron connections in the lumbar spinal cord of frogs (*Rana esculenta*)

(in prep)

Könyv fejezetek

A. Birinyi: Organization of spinal motor networks (in Motor Functions of the spinal cord, ed. András Birinyi), Research Signpost (accepted) 2011

A. Birinyi: Anatomy of spinal motoneurons (in Motor Functions of the spinal cord, ed. András Birinyi), Research Signpost (accepted) 2011

E. Wolf: Computational neuroscience approaches to motor control: Control of swimming in the young tadpole of the *Xenopus laevis*: (in Motor Functions of the spinal cord, ed. András Birinyi), Research Signpost (accepted) 2011

Absztraktok és poszter bemutatók

A. Stelescu, E. Vida, I. Wéber, A. Birinyi and E. Wolf: Cervical and lumbar motoneurons are morphologically and electrotonically different in frog (*Rana esculenta*)

Clinical Neuroscience / Ideggyógyászati Szemle, Debrecen, 61/1: 58., 2008.

E. Vida, A. Stelescu, I. Wéber, A. Dityatev, E. Wolf and A. Birinyi: Quantitative description of reticulospinal interneuron – motoneuron connections in the cervical spinal cord of frog

Clinical Neuroscience / Ideggyógyászati Szemle, Debrecen, 61/1: 68., 2008.

A. Stelescu, E. Vida, I. Wéber, A. Birinyi and E. Wolf: Segmental differences between cervical and lumbar motoneurons in the spinal cord of frogs

FENS Abstr., vol.4, 156.5, 2008.

I. Wéber, A. Stelescu, A. Dityatev, E. Wolf and A. Birinyi: Quantitative morphological description of electron microscopically identified propriospinal interneuron – motoneuron connections in the lumbar spinal cord of frog

FENS Abstr., vol.4, 156.5, 2008.

A. Stelescu, J. Vass, J. Sümegi, E. Wolf: Morphological and electrotonic comparison of motoneurons and their dendritic fields in the cervical and lumbar segments of frogs
Frontiers in Systems Neuroscience. Conference Abstract: 12th Meeting of the Hungarian Neuroscience Society. doi: 10.3389/conf.neuro.01.2009.04.075, Budapest, 2009.

A. Stelescu, J. Sümegi, J. Vass, E. Wolf: Morphological and electrotonic comparison of motoneurons in frog (*Rana esculenta*)
Conference Abstract: 15th Congress of the Hungarian Anatomical Society, 11-13, June, Budapest, 2009.

A. Stelescu, A. Somogyi, E. Wolf: Morphoelectrotonic mapping of dendritic surfaces in different CNS neurons
IBRO International Workshop, 21-23, January, Pecs, Hungary, 2010.
Frontiers in Neuroscience. Conference Abstract: IBRO International Workshop 2010. doi: 10.3389/conf.fnins.2010.10.00268

A. Stelescu, A. Somogyi, E. Wolf: Morphoelectrotonic mapping and comparison of distributions of dendritic surface in spinal motoneurons, pyramidal and purkinje cells of different species
FENS Abstr., vol.5, 192.52, 2010

A. Somogyi, A. Stelescu, E. Wolf: Are the passive morphofunctional architectures of CNS neurons really different?
Front. Neurosci. Conference Abstract: 13th Conference of the Hungarian Neuroscience Society (MITT). doi: 10.3389/conf.fnins.2011.84.00032

A. Somogyi, A. Stelescu, E. Wolf: Scaling properties of distributions of dendritic synapses in different CNS neurons
Acta Physiologica Abstr., vol. 202., supplement 684, 2011.