

Semmelweis OTE Kísérleti Kutató Laboratórium és Bockus Kutató Intézet, Philadelphia

Artériák inkrementális rugalmassági tulajdonságainak változása
simaizom aktiválás hatására

Monos Emil, Hudetz Antal és Cox Robert H.

Bevezető

Az érrendszer rendkívül bonyolult, sajátosan elosztott geometriai és mechanikai viselkedésének tanulmányozása lehetőséget nyújt a vérkeringés szabályozás olyan problémáinak megoldásához, melyek a neurohumorális mechanizmusok izolált elemzése révén megközelíthetetlenek (7). A genetikusan determinált geometriai-mechanikai alapkonstrukció valószínűleg eleve megszab bizonyos principiális szabályozási hatásokat, melyek finomabb méretezése, az aktuális igényekhez való optimális igazítása viszont az érfal simaizomzatának neurohumorálisan irányított aktiv tevékenységéhez kötött.

Korábbi in vitro vizsgálatokban kimutattuk (6,8), hogy különböző hormonok fiziológiás dózisaival történő simaizom aktiválás esetén az artériák geometriai- és feszültségválasza szorosan függ az intraluminális nyomás által beállított pillanatnyi mechanikai állapottól. A geometriai válasz (átmérőrövidülés) maximuma a normális középnyomás alatti értéknél alakult ki minden vizsgált artériatípus esetében. Jelen munkánkban azt elemezzük, hogy a relaxált simaizomzatu érfal anyagi minőségére jellemző inkrementális rugalmassági tulajdonságok miként változnak meg fiziológiás mértékű aktiválás hatására. E kérdés összefügg azzal a feltételezéssel, hogy az artériás rendszer hullámellenállása U-alaku jelleggörbe szerint függ a középnyomástól 100 Hgmm körül kialakuló minimum értékkel (3,9), mely kapcsolat alátámasztja az artériás vérnyomás szélsőértékkereső kényszerlengéses optimális szabályozásának modell-hipotézisét (10,11). Ismert ugyanis, hogy a hullámellenállás szoros függvénye az érfal rugalmassági tulajdonságainak (2).

Módszerek

A méréseket kutya carotis communis (CC) és iliaca (IA) artériákon végeztük kvázi-statikuss körülmények között egy új in vitro technikával (1,8). A kimetszett artéria 2-3 cm-es cilindrikus szakaszát módosított Krebs-Ringer bikarbonát oldatot tartalmazó, 37 C°-os konstans hőmérsékleten tartott szervfürdőben rögzítettük in vivo hosszban. Az intraluminális nyomást lassan (100 Hgmm/min) változtattuk 0-250 Hgmm között, s eközben a nyomás függvényeként regisztráltuk a külső átmérőt és az axiális húzóerőt, mind relaxált mind aktivált (0,5 mikrogram/ml noradrenalin: NA) simaizomzat mellett. Miután e jelleggörbéket 10 Hgmm-es intervallumokban digitalizáltuk, IBM 360/75-ös számítógépen kiszámítottuk az érfal átlagos izotróp inkrementális rugalmassági modulusát (E), átlagos deformáció-energiasűrűségét (W) és az érfal simaizomzatának inkrementális rugalmassági modulusát (E_{iz}) az alábbi egyenletek szerint:

$$E = \frac{3}{2} \frac{\Delta P_i}{\Delta b_i} \frac{a_i^2 b_i}{b_i^2 - a_i^2} ,$$

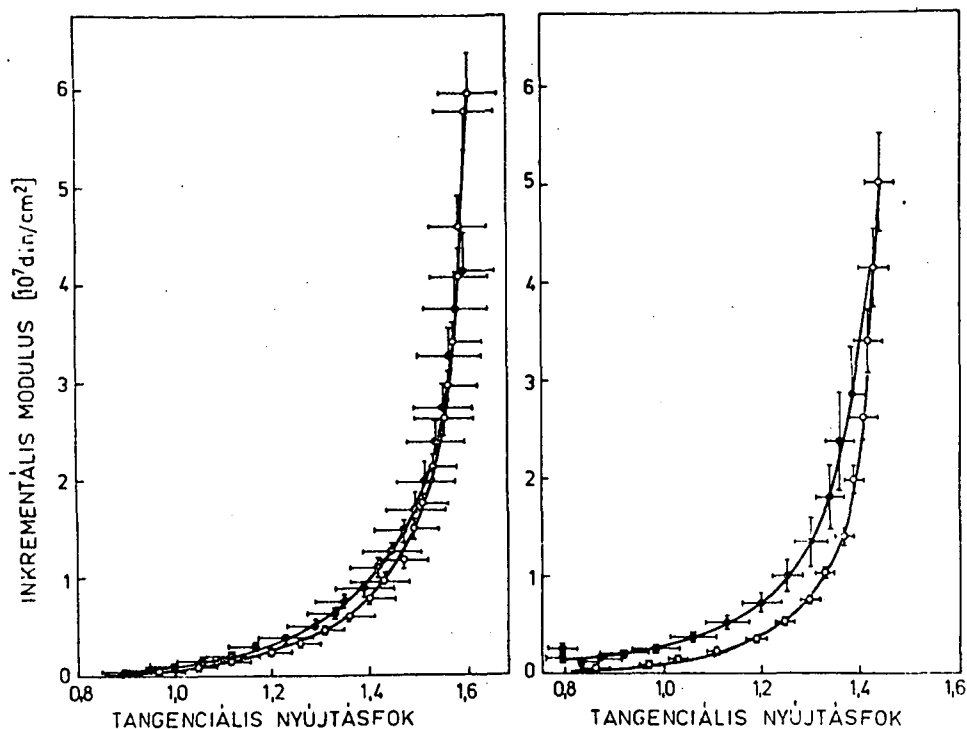
$$W = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{2} \frac{a_i + b_i}{b_i - a_i} ,$$

$$E_{iz} = b_i \frac{\Delta \sigma_{\theta a}}{b_i} ,$$

ahol P_i intraluminális nyomás, a_i és b_i az érfal belső és külső sugara az i-edik nyomásszinten, $\sigma_{\theta a}$ pedig a b_i külső átmérőnél kialakuló aktív tangenciális feszültség (4).

Eredmények

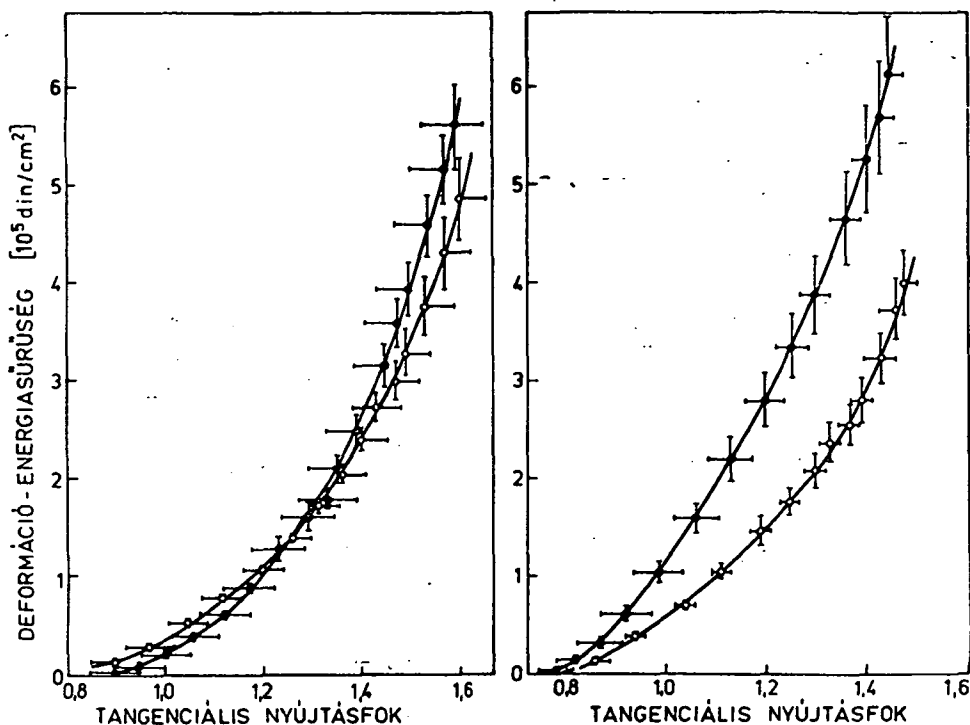
Az átlagos aktív (E_a) és passzív rugalmassági modulus (E_p) tangenciális nyújtásfok függvényében az 1. ábra mutatja. Ilyen összefüggésben a passzív és aktivált érfal rugalmasságát úgy fogjuk fel, mint két különböző anyag jellemző tulajdonságát, mely az ábra



1. ábra

11-11 db passzív (o) és NA-val aktivált (●) CC (baloldalt), valamint IA (jobbaldalt) inkrementális modulusainak átlaga (\pm S.E.M.) a nyújtásfok függvényében

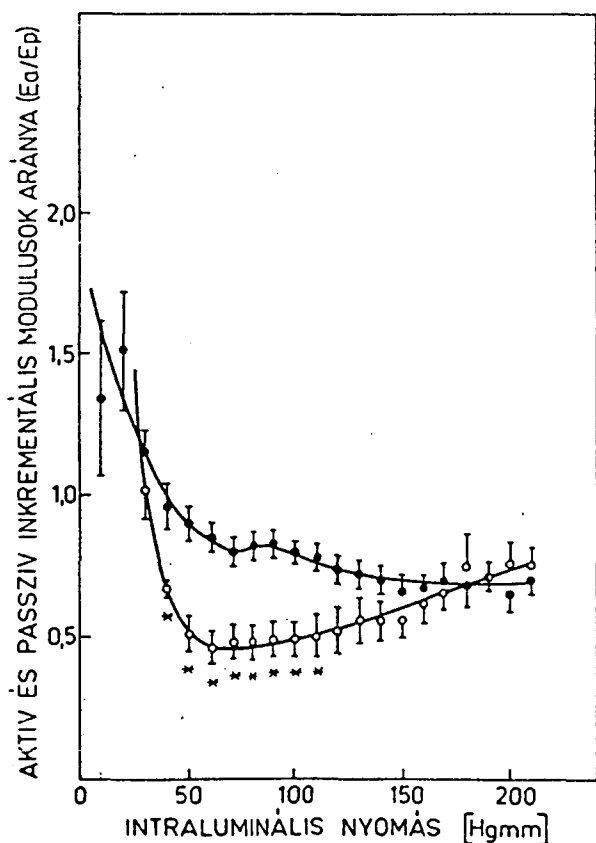
tanúsága szerint is nemlineáris jellegű. Ilyen megközelítésben az aktív és passzív CC artériák rugalmassága nem különbözik szignifikánsan. Az aktivált IA rugalmassági modulus viszont 50-150 %-kal nagyobbnek bizonyult a passzív értéknél a 0,85-1,35 nyújtásfok tartományban. A passzív érfalelemek erősen nemlineáris rugalmas jellegét a simaizom kontrakció csak kis mértékben módosította. Ehhez hasonló módon változott az artériák falában tárolt rugalmas energia W is. A normális működéstartományba eső tangenciális nyújtásfokoknál (1,2-1,4) W azonos az aktivált és passzív CC artériák csoportjában (2. ábra). Az aktivált IA fala viszont 60-120 %-kal több rugalmas energiát tárolt, mint a passzív csoport széles (0,85-1,45) nyújtásfok tartományban. Míg fizikai szempontból a rugalmassági jellemzők nyújtás függvényében történő vizsgálata célszerű (5), az élettani folyamatok elemzéséhez, értelmezé-



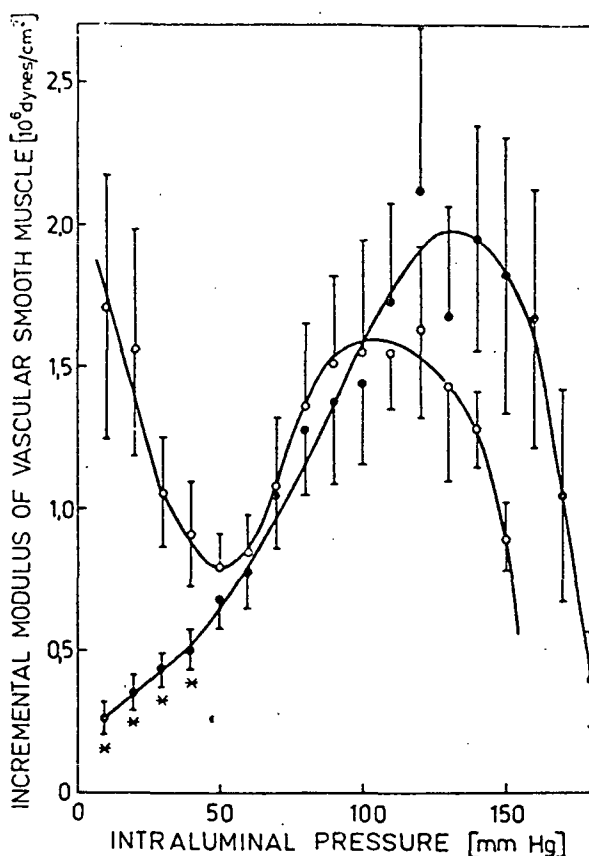
2. ábra
 W átlagértékei (\pm S.E.M.) tangenciális nyújtásfok függvényében passzív (o) és NA-val aktivált (●) CC (baloldalt), valamint IA (jobbaldalt) esetében

séhez szemléletesebb információt ad, ha az intraluminális nyomást tekintjük független változónak. Ezért mindkét artéria típusnál megvizsgáltuk, hogyan aránylik egymáshoz E_a és E_p azonos nyomásértékeken (3. ábra). Megállapítható, hogy a simaizom aktiválása alacsony nyomásértékeknél növeli, 30 Hgmm felett azonban jelentősen csökkenti a rugalmassági moduluszt, azaz növeli a rugalmasságot mind CC, mind IA esetében. A maximális elasztikus választ ($32 \pm 6\%$) CC artériákban 200 Hgmm-en, IA esetében ($54 \pm 6\%$) pedig 60-90 Hgmm-en kaptuk. E nyomásszintek jelentősen meghaladják azokat, melyeknél a maximális geometriai válasz kifejlődött. 40-110 Hgmm tartományban E_a/E_p szignifikánsan különbözik a két artériára nézve: IA esetében $1,36 (\pm 0,11)$ -szer kisebb, mint CC-ben ($p < 0,001$).

Mivel CC és IA elasztikus válasza simaizomaktiválásra jelentős eltéréseket mutat, közelítő eljárással megvizsgáltuk az aktivált simaizomzat rugalmasságát is (4. ábra). Megállapítottuk, hogy E_{iz} az 50-120 Hgmm-es tartományban növekszik mind CC, mint iz IA esetében. Ugyanakkor e tartományban, ahol az elasztikus válaszban szignifikáns különbséget találtunk, E_{iz} a két artériára nézve azonos.



3. ábra
Az aktív (E_a) és a passzív rugalmassági modulusok (E_p) hányadosának átlaga (\pm S.E.M.) az intraluminális nyomás függvényében.
o: IA, ●: CC.



4. ábra
CC (●) és IA (o) artériák simaizomzatának átlagos modulusa (\pm S.E.M.) az intraluminális nyomás függvényében.

Következtetések

1.) Azonos dózisu noradrenalin a különböző típusu artériák rugalmassági tulajdonságait eltérő módon befolyásolja, e hatás feltehetően nem az aktivált simaizomzat különböző rugalmasságával magyarázható.

2.) Az érfal rugalmasság simaizmok által történő irányítása - szemben az érgeometria szabályozásával - a normális fiziológiának és a hipertóniásnak megfelelő nyomástartományban a leghatékonyabb.

3.) A simaizomkontrakció hatására magas nyomásnál létrejövő rugalmasságnövekedés mértékét az artériafal passzív rugalmassági jellemzői határozzák meg.

Irodalom

- (1) Cox R.H.: J. Appl. Physiol, 36, 381, 1974.
- (2) Cox, R.H.: Amer. J. Physiol. 229, 1371, 1975.
- (3) Cox, R.H.: Amer. J. Physiol, 231, 420, 1976.
- (4) Dobrin, P.B., Canfield, T.R.: Circulat, Res. 33, 454, 1973.
- (5) Hudetz, A., Szutrély, J., Monos, E.: 7. Neumann Kollokvium, Szeged, 193, 1977.
- (6) Monos, E.: 5. Neumann Kollokvium, Szeged, 287, 1975.
- (7) Monos, E.: A Biológia Aktuális Problémái 9. Medicina, Budapest, 73, 1977.
- (8) Monos, E., Cox, R.H., Peterson, L.H.: Kísérl. Orv. Tud., 29, 28, 1977.
- (9) Monos, E., Szűcs, B.: Kísérl. Orv. Tud. (közlés alatt)
- (10) Szűcs, B., Monos, E.: 5. Neumann Kollokvium, Szeged, 191, 1975.
- (11) Szűcs, B., Monos, E., Csáki, F.: IFAC 6th World Congress, Boston, Mass., 54:5, 1975.