

# KITEKINTÉS

## Az űrutazás csontvázrendszeri szövődményei

McCarthy. M. F. *Skeletal Radiol* 2011. 40. 661-663

1957 októberében az oroszok felbocsátották a „Szputnyik 1” műholdat és ezzel megkezdődött az űr meghódítása. Az amerikaiaknak csak 12 évvel később, 1969. július 20-án sikerült két űrhajóst eljuttatniuk a Holdra. A közbelső időszakban számos kozmonauta és asztronauta került meg a Földet különféle űrhajókban. Az 1965–66-ban lebonyolított, tíz Gemini küldetés során két űrhajós akár 2 hetet is eltöltött a világűrben. A Gemini program befejezésekor azonnal nyilvánvalóvá vált, hogy az űrhajósokon súlyos vestibuláris zavarok jelentkeznek. A súlytalanság és a kozmikus sugárzás hosszasan érvényesülő hatásai, továbbá a rendkívül szűk élettér sajátos orvosi problémákat idéznek elő. Megszületett az űrorvos-tan tudományága.

Az egyensúlyozó rendszer működészavara miatt fellépő szédülésen kívül izomsorvadás, vérkeringési zavarok, csökkent immunválasz, nagyfokú kimerültség, és pszichológiai rendellenességek is kialakulnak. Különösen nehezen leküzdhető probléma, hogy az űrhajósok csontvesztést is elszenvednek – ez hasonló a hosszú időn keresztül ágyban fekvő betegekén észlelthez. A hatvanas évek elején kezdetleges módszerekkel ellenőrizték az űrhajósok csontsűrűségét űrutazás előtt és után. Már ezzel a pontatlan módszerrel is kimutattak csontvesztést rövid ideig tartó súlytalanság után.

Az első amerikai űrállomás az 1973 és 1979 között üzemelő „Skylab” volt, aminek a személyzete akár 28 napot is eltölthetett a világűrben. Az űrállomáson járt asztronautákon single-foton abszorpciometriával is kimutatták a csontvesztést. Az orosz „Mir” űrállomás 1986-os, majd a Nemzetközi űrállomás 2000. évben történt felbocsátásától kezdve a 4-6 hónapos űrutazás is szokványossá vált. A világűrben számos állatkísérlet elvégzésére is mód nyílt. Ezek a hosszú időszakok lehetővé tették a csontvesztés alaposabb megismerését.

A csonttömeg fenntartásának előfeltétele a csontképződés és a csontreszorpció egyensúlya az élettani átépülési ciklusok során. Ha a reszorpció fázist követően a lebontott mennyiségnél kevesebb csont képződik, akkor fokozatosan csökken a csonttömeg és osteoporosis alakul ki.

Az osteoblast működés osteoporotikus tünetegyüttesekben észlelhető csökkenésének okai nem teljesen ismertek. Az osteoblast-funkció fenntartásának egyik szükséges – az űrutazás során hiányzó – előfeltétele a csontok mechanikai terhelése. Az osteoblastok működésének csökkenése a súlytalanságban kialakuló csontvesztés meghatározó tényezője. Az űrhajósokon elvégzett

biokémiai vizsgálatok a szérum osteokalcin szint csökkenését mutatták ki. A kísérletes vizsgálatok úgyszintén alátámasztják az osteoblast-funkció csökkenését. Űrutazás után csökken az osteoblastok száma és aktivitása. Ez minden bizonnyal az osteoblast előalakok differenciálódásának megszakadásából ered. Az érett osteoblastok kifejlődését többek között az integrinek (legfőképpen a béta-3 integrin) csökkent szintézise hiúsítja meg. A csontban mechanikai igénybevétel után képződő integrinek aktiválják a csontképződés fontos növekedési faktorát, az IGF-1-et érzékelő receptorokat. Működőképes IGF-1 hiányában az osteoblastok előalakjai nem képesek teljes értékű osteoblastokká differenciálódni.

Az integrin-szintézis súlytalanság állapotában bekövetkező csökkenésének okai nem ismertek. Az egyik elmélet a testnedvek űrutazás során fellépő eltolódását teszi felelőssé. A Földön ható nehézségi erő mellett fennálló kapilláris nyomásgradiens Föld körüli pályán keringve megszűnik. A világűrben a testsúlyt a normál körülmények között hordozó csontok hajszálereiben kisebb nyomás uralkodik. A perfúziós nyomás hiánya miatt kevesebb csont képződhet.

Az osteoblast működése csekély gravitáció esetén bekövetkező csökkenésével együtt az osteoclastok aktivitása is fokozódik. Az űrutazás során megemelkednek és a visszatérést követően a normál gravitáció mellett még hónapokig magasabbak maradnak a csontreszorpció biokémiai markereinek szintjei. Ráadásul, az űrrepülés ideje alatt megnő a vizeletben ürülő kalcium mennyisége – ez csontbontás jelez. A fokozott csontreszorpciónak és a csökkent csontképződésnek ez a kombinációja osteoporosis kialakulásához vezet.

Az űrhajósok csak a szovjet „Mir” űrállomás 1986-os, illetve a Nemzetközi űrállomás 2000-es felbocsátása óta tölthetnek el 4-6 hónapot a világűrben. Kimutatták, hogy a csontvesztés azonnal elkezdődik, azonban nem érinti egyformán mindegyik csontot: a testsúlyt hordozókon (például a lumbális csigolyákon, proximális femurszakaszon) nagyobb mértékű. Az űrutazás előtt és után elvégzett DEXA vizsgálatok szerint a csontvesztés a lumbális csigolyák esetében 1%, míg proximális femurszakaszon 1,5% havonta. A kvantitatív CT (qCT) vizsgálatok ennél nagyobb mértékű, akár 2,7%-os csontvesztést mutattak ki. Ez, a világűrben bekövetkező csontvesztés vizsgálatára napjainkban már előnyben részesített eljárás azt is felfedte, hogy az elveszített csontmennyiség java része a kéregállományból tűnik el. A qCT-vel ész-

lelt, 2,7%-os csökkenés a posztmenopauzás nőknél megfigyelt csontvesztés ütemének hozzávetőleg hatszorosa. A csontozat tömegének osteoporosisban, a beteg teljes élettartama során bekövetkező, 15%-os csökkenését egy űrhajós a világűrben mindössze 6 hónap alatt elszenvedheti.

Mindazonáltal, a világűrben bekövetkező csontvesztés mértéke egyénenként különböző. A megszakítás nélküli űrutazás időtartam-rekordját tartó V. Poljakov csonttömege például láthatóan alig csökkent 408 nap alatt. Ezzel szemben, D. Wolf amerikai űrhajós a „Mir” űrállomáson eltöltött 135 nap alatt elveszítette csonttömege 12%-át (továbbá izomtömege 40%-át és a testsúlya is csökkent közel 10,5 kilogrammal). Ennek az inter-individuális különbségnek az ismeretében szükséges a rizikófaktorok szűrővizsgálata az űrutazás előtt.

Az elveszített csont pótlása lassú és talán sohasem fejeződik be. Az űrhajósok többségének csonttömege 3 éven belül áll helyre. Ez idő alatt fennáll a csonttörés kockázata. Kétségtelen, hogy a csontsűrűség DEXA vizsgálattal kimutatott normalizálódása ellenére, a qCT lelet a csontszerkezet megváltozására utal, ami miatt maradandóan csökkenthet a csontok szilárdsága. Csekély gravitáció mellett a kéregállomány elvékonyodásán felül a szivacsos állomány is fogyatkozik. Ennek során egy bizonyos ponton túl felbomlik a csontgerendák hálózata. Bár a megmaradt trabeculák csontállománya gyarapítható (amint azt a DEXA eredményeinek normalizálódása jelzi), a csontgerendák összeköttetései többé már nem állíthatók helyre. Ily módon, az űrhajósok esetében maradandónak bizonyulhat a csontváz szilárdságának csökkenése.

A csontvesztés az a korlátozó tényező, ami megszabja, hogy az ember milyen hosszú ideig tartózkodhat a világűrben. Bár az űrprogram további menete egyelőre nem világos, a tervek szerint lehetséges, hogy 2030-ban expedíció induljon a Marsra. A marsi űrutazás során közel 3 éven keresztül kell elviselni a csekély gravitáció hatását – márpedig ez rettenetes pusztítást végezne a csontvázon. A prevenció számos lehetséges módját tovább kell tanul-

mányozni, mielőtt hosszú időtartamú súlytalanság elviselésére vállalkozhatnánk. Az űrutazás első éveiben az űrhajósok naponta akár 2 órát is eltöltöttek a világűrben edzéssel, szobakerékpáron, vagy kondigépen. Sajnálatos módon, ezek a módszerek kevésbé váltak be a csontvesztés megelőzésére. A Nemzetközi Űrállomás személyzete futópádon edzett – a gravitáció szimulálása érdekében erősen leszíjazva, azonban ez a módszer sem volt valami hatásos. A testedzésen kívül ígéretes még a rezgő dobogó, ami az egész testet folytonosan rezgésben tartva serkentheti az osteoblastok működését. Ezeket az eszközöket már jelenleg is használják osteoporotikus betegek kezelésére.

Alighanem a gyógyszeres kezelés is hatásos a csontvesztés megelőzésére. Az űrhajósok hosszú hatástartamú biszfoszfonátokat, például zolendronátot szedhetnének a csontreszorpció és a következményes csontvesztés lassítása céljából. Az osteoclast gátló osteoprotegerin alkalmazása is felmerült. Ez a rendkívül hatásos gyógyszer a RANKL és az osteoclastok felszínén található receptora- inak összekapcsolódását gátolva fejt ki hatását. Ezenfelül, mivel a kozmikus sugárzás is hozzájárulhat a csontvesztéshez, az űrhajó hathatós sugárvédelme is lassíthatja a csontvesztést. Végül, a többek között az áfonyában előforduló omega-3 zsírsavat és más antioxidánsokat nagy mennyiségben tartalmazó étrend is kedvezően hathat az űrutazók csontozatának egészségére.

Jelenleg még nem tudhatjuk, hogy vajon az ember a csontvesztés elhárítása révén képessé válhat-e a hosszú ideig tartó súlytalanság elviselésére. Ezen a területen végzett kutatások mellékesen az általános egészség javítását is szolgálhatják. Ezek, a csekély gravitáció körülményei között végzett vizsgálatok kiemelték a csontváza- ra ható mechanikai erők meghatározó jelentőségét az osteoporosis megelőzésében. Ezek az ismeretek a szenilis osteoporosis kezelésében is hasznosulnak és hozzásegítenek annak megértéséhez, miképpen előzhető meg a csontvesztés, ha elkerülhetetlen a beteg immobilizálása.

*Forgács Sándor dr.*