کاهش وزن در فضا؛ علل و چگونگی اندازه‌گیری آن

ترجمهٔ مرجان روح‌نواز

کلیدواژه‌ها: کاهش وزن، فضا، وزن

بحث زیستی مسئله

در روی زمین برای غلبه بر نیروی گرانشی باید عضلات خاصی مانند عضلات ستون فقرات، گردن، ماهیچهٔ ساق پا و عضلات چهار سر را به کار اندازیم تا توانایی حرکت و ایستادن داشته باشیم. در صورت استفاده نکردن از این عضلات (مانند شرایطی که فضانوردان در حالت گرانش صفر با آن روبه‌رو هستند) آن‌ها ضعیف می‌شوند و کم‌کم تحلیل می‌روند. این فرایند آتروفی[1] نام دارد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که فضانوردان تقریباً ۲۰ درصد جرم عضلات خود را در پروازهایی که طولانی‌تر از ۵ تا ۱۱ روز از دست می‌دهند. به‌همین دلیل نیز، آن‌ها باید علاوه بر رژیم غذایی مناسب و مصرف مکمل‌های غذایی و هورمونی،ساعت‌هایی از وقت خود را در سفینه‌های فضایی ورزش کنند. برای نمونه فضانوردان ایستگاه فضایی بین‌المللی برای جلوگیری از کاهش عضلات خود هر روز ۲/۵ ساعت ورزش می‌کنند.

کاهش نیروی گرانشی به غیر از عضلات در متابولیسم استخوان‌ها تغییر ایجاد می‌کند و سبب کاهش تراکم آن‌ها می شود. در حالت عادی استخوان‌ها در جهت تنش مکانیکی ساخته می‌شوند ولی در شرایط گرانش صفر معمولاً تنش مکانیکی بسیار کم است و این امر سبب کاهش لایه‌های استخوانی به ویژه در استخوان‌های لگن، ستون فقرات و استخوان ران می‌شود ـ چرا که این نواحی بیشترین وزن گرانشی را تحمل می‌کنند.

بر روی زمین استخوان‌ها توسط دو فرایند متوازن استئوکلاست[2] و استئوپلاست[3] پیوسته از دست داده و بازسازی می‌شوند. در یک فرد سالم این دو فرایند بسیار با هم هماهنگ هستند به‌طوری‌که اگر استخوانی شکسته شود لایه‌های جدیدتر جایگزین آن می‌شود. اما در فضا به دلیل وجود نیروی گرانش ناچیز، فرایند استئوکلاست افزایش بیشتری دارد. این مسئله یک مشکل به شمار می‌آید چرا که این فرایند، استخوان‌ها را به مواد معدنی که توسط بدن جذب می‌شوند، تجزیه می‌کند و این در حالی است که فرایند استئوبلاست به اندازهٔ فرایند دیگر فعال نیست و در نتیجه کاهش تراکم استخوان رخ می‌دهد. حاصل ادامه این روند احتمال افزایش مقدار کلسیم در خون و پیایند آن، سفت (آهکی) شدن[4] بافت‌های نرم و همچنین احتمال ایجاد سنگ کلیه است.

بحث کمی مسئله

بر پایهٔ بررسی‌های انجام شده، میانگین کاهش تراکم استخوان برای هر فضانورد مقداری نزدیک به ۱/۹ درصد در ماه است. با استفاده از نمودار زیر که نشان‌دهندهٔ کاهش تراکم استخوان در زنان و مردان بر حسب سن آن‌ها در شرایط عادی (گرانشی) است می‌توان مسائل گفته شده را به‌صورت کمی بررسی کرد.

مسئله: فضانوردی ۴۰ ساله مدت ۶ ماه در ایستگاه بین‌المللی فضایی به سربرده است. میزان کاهش تراکم کلسیم استخوان‌های وی هنگام برگشت به زمین را در هر یک از حالت‌های زیر حساب کنید:

الف. فضانورد، مرد و هنگام سفر به فضا تراکم کلسیم در استخوان‌هایش ۱۵۰۰ gr باشد.

ب. فضانورد، زن و تراکم کلسیم در استخوان‌هایش ۱۲۰۰ gr باشد.

پاسخ: با توجه به مطالب و نمودار بالا مقدار کاهش تراکم کلسیم استخوانی برای فضانوردان مرد و زن به ترتیب برابر است با:

الف. ۱۷۱ gr = ۱۵۰۰ gr × ماه ۶ × ۰/۰۱۹

ب. ۱۳۷ gr = ۱۲۰۰ gr × ماه ۶ × ۰/۰۱۹

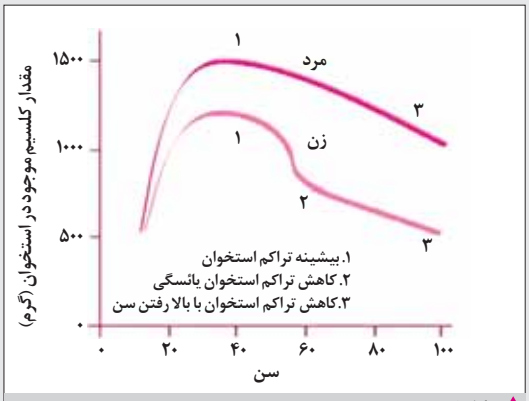
مسئله: با توجه به نمودار (۱) محاسبه کنید هر فضانورد مرد/زن (اگر به فضا نمی‌رفت) در چه سنی همان تراکم استخوانی را دارد که پس از سفر فضایی خواهد داشت.

پاسخ: تراکم استخوانی نهایی فضانورد مرد/ زن پس از بازگشت از فضا به ترتیب برابر است با:

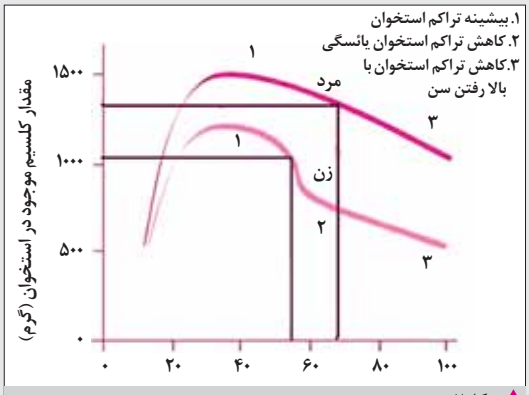
۱۵۰۰ gr - ۱۷۱ gr = ۱۳۲۹ gr

۱۲۰۰ gr - ۱۳۷ gr = ۱۰۶۳ gr

از روی نمودار می‌توان مشخص کرد که در شرایط عادی گرانشی این تراکم استخوانی در حدود سنین ۶۷ سال (برای مردان) و ۵۵ سال (برای زنان) رخ می‌دهد.



▲ شکل ۱.



▲ شکل ۲.

لازم به یادآوری است برخلاف کسانی که دچار پوکی استخوان هستند، فضانوردان معمولاً تراکم عادی استخوان‌های خود را با گذشت زمان به دست می‌آورند. پس از ٤ - ۳ ماه سفر به فضا، ۳ - ۲ سال طول می‌کشد تا این امر حاصل شود و تحقیقات جدیدتر برای کاهش این مدت همچنان ادامه دارد.

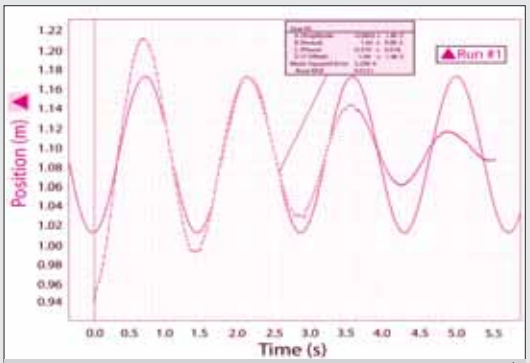
بحث فیزیکی مسئله

از آنجا که کنترل تغییرات جرمی فضانوردان برای سلامت جسمانی آن‌ها بسیار حیاتی است، پس باید این تغییرات پیوسته اندازه‌گیری و کنترل شوند. این مسئله ما را به این پرسش رهنمون می‌شود که در شرایط گرانش صفر (بی‌وزنی) چگونه می‌توان نیروی وزن را اندازه گرفت؟ مقالات چندی در وبگاه ناسا (NASA) به بررسی وسایل اندازه‌گیری جرم° (BMMD) اختصاص داده شده است. آژانس‌های فضایی نیز برای اندازه‌گیری جرم فضانوردان به‌جای به‌کارگیری مفاهیم مورد استفاده در زمین از مفاهیم فیزیکی دیگری مانند ویژگی‌های حرکت نوسانی ساده استفاده می‌کنند. با استفاده از این روش، مسئله اندازه‌گیری وزن فضانورد تبدیل می‌شود به مسئله اندازه‌گیری دورهٔ تناوب (یا بسامد) حرکت نوسانی یک صندلی که فضانورد بر روی آن می‌نشیند، شکل(۳).

می‌دانیم برای دستگاه نوسانی (فنر ـ وزنه) می‌توان نوشت

▲ شکل ۳. فضانوردی در حال استفاده از دستگاه اندازه‌گیری جرم (BMMD) در زیوزدا، مدول ایستگاه بین‌المللی فضایی

▲ شکل ۴. نمونه‌ای از دستگاه ساخته شده برای اندازه‌گیری جرم لختی



▲ شکل ۵. تطابق منحنی مکان بر حسب زمان صندلی در حال نوسان با بخشی از یک منحنی سینوسی هماهنگ.

$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$، k ثابت فنر و m جرم وزنه می‌باشد. چون که دورهٔ تناوب برابر است با $\frac{2\pi}{\omega}$، با استفاده از رابطهٔ $m = 4\pi^2 kT^2$ می‌توان مقدار جرم را پیدا کرد. برای این کار دورهٔ تناوب جرمی معلوم را با دستگاه اندازه می‌گیریم و سپس با استفاده از آن، مقدار ثابت فنر (k) دستگاه تعیین می‌شود (به این کار مدرج کردن دستگاه می‌گوییم) آن‌گاه طبق رابطهٔ بالا جرم فضانورد تنها با اندازه‌گیری دورهٔ تناوب حرکت نوسانی وی به دست می‌آید.