

氏名(国籍)	李相直(韓国)
学位の種類	博士(学術)
学位記番号	博乙第1742号
学位授与年月日	平成13年5月31日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
審査研究科	体育科学研究科
学位論文題目	運動タイプと骨密度、骨形態および骨強度に関する研究
主査	筑波大学教授 農学博士 鈴木正成
副査	筑波大学教授 医学博士 宮永豊
副査	筑波大学助教授 医学博士 徳山薫平
副査	筑波大学講師 博士(医学) 竹田一則

論文の内容の要旨

研究の目的

近年、人口の高齢化に伴い、高齢者の生活の質（quality of life ; QOL）を向上させることの必要性が指摘されているが、その一つに加齢に伴う骨減弱化と骨粗鬆症対策がある。骨減弱・骨粗鬆症は骨折による寝たきりを高齢者に発生させるので問題となるが、骨折防止に最も重要なのは骨強度の増大である。しかし、骨症状の評価は主として骨密度を指標になされてきた。その理由は、生体の骨の強度測定が不可能であること、さらには実験的に骨密度は骨強度と正の相関をもつとされてきたためである。しかし、骨密度のみで骨強度を推定することは必ずしも妥当でないことが、近年多くの報告で指摘されている。このことも踏まえて、骨折を防止する骨のあり方を明確にするには、骨密度に加えて骨強度を左右する要素の一つである骨形態を重要な指標として検討することが必要だと考える。

本研究では、骨強度に骨量（骨密度）だけでなく骨形態が影響するか否かについて、レジスタンス運動（スクワット運動、クライミング運動）とエアロビック運動（スイミング運動）をラットに負荷して検討した。さらに、レジスタンス運動が骨形態を変えて骨強度を高める作用が、老化モデルラットでも確認できるか否かを、精巣除去とグルココルチコイド投与の二つの条件で調べた。

研究1. スクワット運動がラットの骨密度、骨形態および骨強度に及ぼす影響

短時間に高強度の負荷を漸増させる人間のウエイトトレーニングと同様の条件をラットに負荷する、ラット用スクワット運動装置を開発し、スクワット運動が大腿骨骨幹部の骨密度、骨強度と骨形態に及ぼす影響について検討した。その結果、スクワット運動により大腿骨骨幹部の骨強度と形態指標である皮質骨面積、骨髓腔面積および横断面積は有意に増大したが、骨密度は有意な増大をみせなかった。したがって、スクワット運動に対して骨は、骨密度より皮質骨断面の内径を大きくしながら外径も拡大させるという形態変動（modeling drift）をもって対応し、骨強度を増大させることが明らかにされた。

研究2. スイミング運動がラットの骨密度、骨形態および骨強度に及ぼす影響

レジスタンス運動に比べて骨への力学的負荷の比較的小さいとされているエアロビック運動であるスイミング

運動をラットに負荷し、骨強度が増大するか否か、またそれが骨形態の変動に依存するか否かを検討した。その結果、スイミング運動で大腿骨の皮質骨面積は有意に増大したが、内径および外径に変動は見られなかった。また、スイミング運動は骨強度および骨密度のいずれをも増大しなかった。これは、皮質骨の面積が大きくなっても外径が大きくなると、骨強度は増大しないことを示唆する。したがって、骨強度の増大が内径より外径の拡大に依存すること、そして、スイミング運動の力学的負荷の弱い刺激を受けた大腿骨骨幹部の皮質骨は、内径・外径の拡大を示すことはないが、その負荷の量と強度が大きければ骨形態を変動することが明らかになった。

研究3. スクワット運動とスイミング運動のクロストレーニングがラットの骨密度、骨形態及び骨強度に及ぼす影響

スクワット運動とスイミング運動を組み合わせるクロストレーニングをラットに負荷し、骨強度増大が骨形態の変動に依存するか否かを検討した。その結果、有意ではなかったものの、クロス運動により大腿骨皮質骨の内径と外径は拡大傾向を示し、骨強度も増大の傾向を示した。骨形態の変動はスイミング運動の効果とは異なり、スクワット運動の影響を強く反映していた。したがって、スイミング運動とスクワット運動を組み合わせるクロス運動は、骨強度の維持・増大に相補的效果を示すといえる。

研究4. 軽レジスタンス運動（クライミング運動）がラットの骨密度、骨形態および骨強度に及ぼす影響

骨粗鬆症に対する対策で最も重要なことは、骨量減少の防止である。その予防策として、骨量増大作用の大きいレジスタンス運動がエアロビック運動より有効である。しかし、いっばんにレジスタンス運動は負荷強度が高すぎるため、圧迫骨折や筋肉損傷などをおこす危険性をもつので、熟年・高齢者が日常化する運動としては適当ではない。そこで、ダンベル体操のような軽レジスタンス運動をラットに負荷できる。ラット用クライミング運動装置を開発し、クライミング運動が大腿骨骨幹部の骨密度、骨形態および骨強度に及ぼす影響について検討した。

その結果、クライミング運動により骨密度は増大しなかったが、皮質骨面積、横断面積および骨強度は有意に増大した。この結果から、クライミング運動も骨密度より皮質骨外径の拡大という形態変動をもたらした骨強度を増大することが明らかになった。また、クライミング運動はダンベル体操の骨づくり作用に関する基礎的な情報を与えるものと考えられるので、熟年・高齢者の骨粗鬆症予防にダンベル体操が有効であることを示唆しているといえる。

研究5. 軽レジスタンス運動（クライミング運動）が精巣除去ラットの骨密度、骨形態および骨強度に及ぼす影響

精巣除去によりアンドロゲン欠乏をおこした雄性老化モデルラットにクライミング運動を日常化させ、骨強度増大が骨形態の変動に依存するか否かを検討した。その結果、精巣除去により横断面積および骨強度は有意に減少したが、クライミング運動によりその減少は抑制された。また、骨髄腔面積は精巣除去により増大したが、クライミング運動によりその増大は抑制された。これらのことから、精巣除去による骨強度の低下はクライミング運動により抑制されるが、それはクライミング運動の皮質骨外径拡大をもたらす形態変動作用によるものであることが示唆された。

研究6. 軽レジスタンス運動（クライミング運動）がグルココルチコイド投与ラットの骨密度、骨形態および骨強度に及ぼす影響

老化ホルモンのグルココルチコイドを投与して体たんぱく質合成の低下とミネラル代謝の低下を起こした骨減弱老化モデルラットを用いて、クライミング運動が大腿骨皮質骨の外径を拡大し骨強度を高めるか否かを検討した。その結果、グルココルチコイド投与により骨強度は低下したが、その低下はクライミング運動により抑制さ

れる傾向を示した。また、グルココルチコイド投与による皮質骨の内径および外径の減少が、クライミング運動で抑制される傾向にあった。したがって本研究は、骨強度の増大が皮質骨内径よりも外径の拡大に依存することを再び証明したことになる。

このようにグルココルチコイド投与による骨減弱化モデルラットにおいても、軽レジスタンス運動は皮質骨外径を拡大して骨強度を高めることがわかった。したがって、軽レジスタンス運動は老化に伴う骨減弱化・骨粗鬆症の予防に有効な運動であるといえる。

全体の考察

骨強度増大には、運動法としてエアロビック運動よりレジスタンス運動が有効であることと、レジスタンス運動による骨強度増大は骨密度の増大に依存するというよりも、皮質骨外径の拡大による形態変動に依存することが明らかとなった。さらに、このようなレジスタンス運動の効果は骨減弱・老化モデルラットに軽レジスタンス運動のクライミング運動を負荷した条件でも確認された。これらのことから、軽レジスタンス運動は老化に伴う骨減弱化・骨粗鬆症の予防に有効であると考えられる。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文はエアロビック運動（スイミング）と重レジスタンス運動（スクワット）や軽レジスタンス運動（クライミング）を対比して、老化に伴う骨減弱化防止に向けて骨強度を増大するにはレジスタンス運動とくに軽レジスタンス運動が有用であることを明快に示したことで評価される。また従来、骨密度を高めることが骨強度の増大につながるとされていたことに対して、骨密度の増大よりも皮質骨外径の拡大と骨髓腔の縮小を伴う皮質骨面積の増大につながる骨形態の適応的変化がより重要であることを指摘した点はとくに評価される。

よって、著者は博士（学術）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。