

2013年1月8日

博士学位論文審査報告書

大学名 早稲田大学
研究科名 人間科学研究科
申請者氏名 篠原 暁子
学位の種類 博士（人間科学）
論文題目 古典的1週間グリコーゲンローディング処方はファットローディング効果を併せもつ
The classic one week glycogen-loading regimen additionally chances the fat-loading to skeletal muscles
論文審査員 主査 早稲田大学教授 福林 徹 博士（医学）（筑波大学）
副査 早稲田大学教授 鈴木 秀次 医学博士（千葉大学）
副査 早稲田大学教授 樋口 満 教育学博士（東京大学）

本博士学位論文は第一にその着眼点の創造性にその価値が認められる。タイトルにもあるようにグリコーゲンローディングはスポーツ界では選手の間でもごく一般的に用いられており、広く流通している言葉であるが、そこに並列にファットローディングという言葉を持ち込み、その有用性を証明したところに著者、およびその恩師、故鈴木正成先生の気概が感じられる論文である。

論文は第二章のヒト試験、そして第三、第四章の動物実験から構成されている。第二章では成人男性6名を用いファットローディング効果の検証を行ったものである。いわゆる古典的1週間グリコーゲンローディング処方後に自転車運動（50%VO_{2peak}, 60分）を行なわせ、骨格筋細胞内脂肪の利用可能性の有無を血清グルコース濃度、血清遊離脂肪酸濃度、および呼吸交換比率からの代謝のパターンで判断している。その結果、血清グルコース濃度、および血清遊離脂肪酸濃度で古典的1週間グリコーゲンローディング処方を施した高脂肪食 - 高炭水化物食群（以下A群と略す）と6日間高炭水化物食を食事させる高炭水化物食 - 高炭水化物食群（以下B群と略す）には有意差は見られなかった。しかしその一方で呼吸交換比率がA群は脂質代謝に近い結果を得られた。このことは、脂肪をエネルギー源として利用する比率が高くなっていることを意味すると考えられることから、骨格筋細胞内脂肪が高率で利用された可能性が示唆されたとしている。

第三章は本論文の中核をなす章である。実験対象としてラット36匹を用いている。実験方法としてまずラットを水中浴で十分に疲労困憊させ、筋内のグリコーゲンと脂肪の備蓄を最小限にしてから、古典的1週間グリコーゲンローディング処方を施したA群

と6日間高炭水化物食を食餌させるB群の二群に分けた。7日目に屠殺し尺側手根伸筋を摘出し筋切片を作成した。光学顕微鏡および蛍光顕微鏡を使用した組織化学的手法を用いて、骨格筋細胞内のグリコーゲン顆粒(PAS染色法)と脂肪滴(Oil red O染色法)の蓄積分布と含量の経日変動を比較・検討している。その結果、グリコーゲン顆粒は染色濃度に相違はあるがすべての骨格筋細胞が染色されていた。一方、脂肪滴は骨格筋細胞内に脂肪滴が蓄積されている細胞と蓄積されていない細胞がみられた。蓄積された筋内の脂肪滴については、多くが骨格筋細胞膜に隣接し、細胞を縁取るように貯蔵されていた。また、骨格筋細胞内の含量について、A群は、1日目の疲労困憊運動負荷後、3日間高脂肪食を摂取したにもかかわらず、骨格筋細胞内グリコーゲン含量が4日目には運動前のレベルに、そして7日目にはそれ以上のレベルに回復していた。また骨格筋細胞内脂肪含量は疲労困憊運動負荷前のレベルを上回るまでに4日目には回復し、7日目にもそれを維持した。一方、B群では、骨格筋細胞内グリコーゲン含量こそA群に比べ4日目に高い値($p < 0.01$)を示したが、7日目には4日目と同じレベルに留まった。また脂肪滴面積はA群に比べ有意に低値($p < 0.01$)に留まった。これらの結果はグリコーゲン含量に関しては従来の研究を追従する結果であったが、脂肪滴面積についてはファットローディング効果を示唆する新知見となった。

第四章は第三章と同様の実験方法を用いるも、実験開始前の運動負荷を弱くするとともに、尺側手根伸筋の代わりに遅筋の含有率が多いヒラメ筋を対象として、グリコーゲンと脂肪滴の筋肉内蓄積分布と含量の経日変動を比較・検討した研究である。その結果、グリコーゲン顆粒は染色濃度に相違はあるがすべての骨格筋細胞が染色されていた。一方、脂肪滴は骨格筋細胞内に脂肪滴が蓄積されている細胞と蓄積されていない細胞がみられたが、A群の4日目の標本では顕微鏡下でも明らかに多量の脂肪滴が骨格筋細胞膜に隣接し、細胞を縁取るように貯蔵されていた。グリコーゲンの骨格筋細胞内の含量について見ると、A群は、3日間高脂肪食を摂取したにもかかわらず、骨格筋細胞内グリコーゲン含量が運動前のレベル(4日目)もしくはそれ以上のレベル(7日目)に回復した。また骨格筋細胞内脂肪含量は4日目には運動負荷前のレベルを3倍以上に上回り($p < 0.01$)、さらに7日目でもその量は減少しながらも運動負荷前のレベルを維持していた。A群とB群を比較すると骨格筋細胞内脂肪含量はA群がB群に比べ4日目、7日目ともに有意($p < 0.01$)に上回っていた。一方、B群では、骨格筋細胞内グリコーゲン含量こそA群に比べ4日目に高い値($p < 0.01$)を示したが、7日目には4日目と同じレベルに留まった。以上により全体の傾向としては実験前の運動負荷を軽くし、かつ採取筋を速筋の比率が高い尺側手根伸筋から遅筋比率が高いヒラメ筋に変えても実験結果は傾向としては変わらずファットローディング効果が検証できたとしている。

今回の実験結果より古典的1週間グリコーゲンローディング処方ではグリコーゲンローディングとともにファットローディングが生じていることが明らかにされる意義は大きい。総合考察でも述べられているように第二章、第三章、第四章の結果を詳細に比較すると、ファットローディングの様式はグリコーゲンローディングとは組織所見でその像が異なること、また筋による差異が大きく、比較的短期間にその貯蔵量が増減することが推測される。今後この点を詳細に検討すればさらなる新しい研究に発展する可能性が秘められている。また今回はいわゆる古典的1週間グリコーゲンローディング処方に限られた実験であり、また筋も尺側手根伸筋とヒラメ筋に限定されている。今後実験条件を変え、また上肢、下肢の主要な筋で同様の実験的研究が行われれば本研究のさらなる発展につながると思われる。

本審査委員会では本研究で得られた成果は栄養学、体力科学の立場から見て極めて有用であり、権威ある学術誌に掲載されていることから、研究内容の質が専門家からみて一定の水準を超えた論文であることが確認された。

なお、本論文（一部を含む）が掲載された主な学術論文は以下のとおりである。

Shinohara A, Takakura J, Yamane A, Suzuki M: Effect of the classic 1-week glycogen-loading regimen on fat-loading in rats and human. *J Nutr Sci Vitaminol*. 56: 299-304, 2010

以上より、本論文が優れた学術的価値を有するものであると判断し、博士（人間科学）の学位を授与するに十分値するものと認める。

以上