

スロースクワット(LST)における内分泌応答とアンチエイジング作用に関する包括的・専門的研究報告書

1. 序論: 超高齢社会におけるレジスタンストレーニングのパラダイムシフト

1.1. サルコペニアと従来のトレーニング理論の限界

現代社会において、加齢に伴う骨格筋量の減少(サルコペニア)および筋力の低下(ダイナペニア)は、高齢者のQOL(生活の質)を著しく損なう主要因となっている。筋肉、特に速筋線維(Type II線維)の萎縮は、転倒リスクの増大、代謝機能の低下、そして寝たきりへの移行を加速させる。これに対抗する手段として、レジスタンストレーニング(筋力トレーニング)の有効性は広く認められている。

米国スポーツ医学会(ACSM)の従来のガイドラインでは、筋肥大と筋力増強を効果的に促すためには、1回に挙上できる最大重量(1RM)の65%~80%以上の高強度負荷(High-Intensity Training: HIT)が必要であるとされてきた¹。この「サイズの原理(ヘンネマンの原理)」に基づく理論では、高閾値の運動単位である速筋線維を動員するために、物理的に重い負荷が不可欠であると考えられてきたからである。

しかしながら、この高強度トレーニングには重大な欠点が存在する。高齢者や低体力者にとって、関節や腱にかかる機械的ストレス(メカニカルストレス)が過大であり、整形外科的な傷害リスクを伴うことである。また、急激な血圧上昇を招く恐れがあり、心血管疾患のリスクファクターを持つ個体への適用は慎重を期す必要がある³。

1.2. 筋発揮張力維持スロー法(LST)の台頭

こうした背景の中で、低負荷でありながら高強度トレーニングと同等の筋肥大・筋力増強効果をもたらすトレーニング法として確立されたのが、「スロートレーニング(Slow Training)」、学術的には「筋発揮張力維持スロー法(Low-intensity resistance training with Slow movement and Tonic force generation: LST)」である⁵。

東京大学の石井直方教授や谷本道哉准教授らによる先駆的な研究により、動作を極めてゆっくりと行い、かつ関節をロック(伸展しきる)させずに筋肉の緊張を持続させることで、筋肉内を虚血状態(低酸素状態)に陥らせ、代謝的ストレス(メタボリックストレス)を最大化できることが明らかになった。この代謝的環境の変化こそが、物理的な重さに依存せずに成長ホルモン(Growth Hormone: GH)の爆発的な分泌を促し、アンチエイジング効果をもたらす核心的なメカニズムである⁸。

本レポートでは、スロースクワットを具体的実践モデルとし、その生体力学的特性、成長ホルモン分泌の詳細なメカニズム、そして肌や骨、代謝機能に及ぼす多面的なアンチエイジング効果について、

最新の知見に基づき詳細に論じる。

2. スロースクワットの生体力学と生理学的機序

2.1. 「ノンロック」動作による筋肉内環境の改変

スロースクワットの最大の生理学的特徴は、動作速度そのものよりも、関節を伸ばしきらない「ノンロック(Non-lock)」状態を維持することにある。通常のスクワットでは、立ち上がった際(伸展位)に膝関節をロックし、骨格で重量を支える局面が存在する。この瞬間、筋肉への負荷は抜け、血流が回復(再灌流)し、蓄積された疲労物質が洗い流されてしまう。

一方、LST(スロースクワット)では、常に筋肉が張力を発揮し続ける(Tonic force generation)。筋収縮力が最大筋力の約40%を超え続けると、筋肉の内圧(Intramuscular Pressure: IMP)が血圧を上回り、筋肉を通る血管が圧迫され、血流が制限される⁶。

表1: 通常のスクワットとスロースクワット(LST)の生理学的比較

比較項目	通常のスクワット (HN: High Normal)	スロースクワット (LST: Low Slow Tonic)
負荷強度	高負荷 (80-90% 1RM)	低負荷 (30-50% 1RM)
動作速度	コンセントリック局面で爆発的 (1秒程度)	常に緩徐 (3-5秒 挙上 / 3-5秒 下降)
関節の状態	動作間でロック(完全伸展)し、休息する	ノンロック(完全伸展手前で折り返す)
血流動態	拍動的であり、ロック時に再灌流が生じる	持続的な血流制限(虚血・低酸素状態)
主要な刺激	機械的張力(メカニカルストレス)	化学的・代謝的ストレス(メタボリックストレス)
運動単位の動員	サイズの原理に従う(遅筋→速筋)	低酸素による早期の速筋動員(サイズの原理の例外)

2.2. 低酸素環境と代謝産物の蓄積

持続的な筋収縮による血流制限は、筋肉内を低酸素状態にする。酸素供給が途絶えた状態で筋活

動を継続するため、エネルギー供給は有酸素系から解糖系へと急速にシフトする。この過程で、乳酸(Lactate)、水素イオン(プロトン)、アデノシンなどの代謝産物が急激に蓄積される⁵。

谷本らの研究において、近赤外分光法(NIRS)を用いて大腿四頭筋の酸素化ヘモグロビンレベルを測定したところ、LST群は高強度トレーニング群と比較しても、より著しい筋肉内の脱酸素化(低酸素化)を示したことが報告されている²。この局所的な過酷な環境こそが、脳(視床下部)に対して「強烈な運動を行っている」というシグナル(誤認)を送るトリガーとなる。

2.3. 関節への力学的負荷: 剪断力と圧縮力

アンチエイジングの観点からは、運動器の安全性、特に関節への負担軽減が重要課題となる。スクワット動作において膝関節には、大腿骨と脛骨を引き離そうとする「剪断力(Shear Force)」と、関節面を押し付け合う「圧縮力(Compressive Force)」が作用する。

- 剪断力の低減: 素早い動作(バリスティックな動き)では、動作の切り返し時に強い慣性力が働き、膝関節内の前十字靭帯(ACL)や後十字靭帯(PCL)への剪断力が増大する。スロースクワットの緩徐な動作(3~5秒かけた動作)は、加速度成分を極小化するため、剪断力を著しく低減させ、靭帯へのストレスを最小限に抑える¹²。
- 圧縮力の制御: 一般に、スクワットの深さが増すほど、また使用重量が増えるほど、膝蓋大腿関節への圧縮力は増大する¹³。スロースクワットでは、動作時間が長いいため積算負荷(インパルス)は増加するものの、使用重量自体が低負荷(自重~軽量)であるため、ピーク時の圧縮力は高重量スクワットに比べて低い。これは変形性膝関節症などのリスクを持つ高齢者にとって、軟骨の摩耗を防ぎながら筋力を強化できる理想的な力学的特性である¹⁴。

3. 成長ホルモン(GH)分泌のメカニズムとアンチエイジング効果

3.1. 成長ホルモン分泌を促す「化学的シグナル」

スロースクワットの最大の効能の一つは、安静時の100倍~290倍とも言われる成長ホルモンの大量分泌である⁶。通常、このような内分泌反応は高強度のハードなトレーニングでしか得られないと考えられてきたが、LSTでは以下の経路を通じて同等の反応を引き出す。

1. 代謝受容器(Metaboreceptor)の刺激: 筋肉内に蓄積した乳酸や水素イオンによるpHの低下は、筋肉内の化学受容器(グループIII・IV求心性神経)を刺激する¹⁰。
2. 視床下部へのフィードバック: この求心性シグナルは脊髄を通過して脳の視床下部に到達し、身体が危機的な代謝ストレス下にあることを伝達する。
3. 下垂体前葉からの分泌: 視床下部は成長ホルモン放出ホルモン(GHRH)の分泌を促進し、同時に成長ホルモン抑制ホルモン(ソマトスタチン)の分泌を抑制する。これにより、脳下垂体前葉から成長ホルモン(GH)が血中にパルス状に放出される¹⁸。

3.2. 研究データに見るGH分泌量: LST vs HIT

谷本・石井らの研究⁽⁵⁾は、LSTの効果を定量的に実証した画期的なものである。若年男性を対象とした実験において、以下の3条件でのトレーニング後のホルモンレベルが比較された。

- **LST:** 50% 1RM、スロー動作(3秒短縮・3秒伸張)、ノンロック。
- **HN (High Normal):** 80% 1RM、通常速度(1秒短縮・1秒伸張)、ロックあり。
- **LN (Low Normal):** 50% 1RM、通常速度、ロックあり。

結果: 血中成長ホルモン濃度において、LST群は高強度のHN群と同等の著しい上昇(安静時の約100倍以上)を示した。一方、同じ重量を用いたLN群では、成長ホルモンの上昇はほとんど見られなかった。この事実は、成長ホルモンの分泌決定因子が「重量の重さ」ではなく、「筋肉内の代謝環境(乳酸蓄積・低酸素)」にあることを決定的に裏付けている。

3.3. 全身的な脂肪分解作用(リポリーシス)

分泌された成長ホルモンは、強力な脂肪分解作用を持つ。成長ホルモンは脂肪細胞のホルモン感受性リパーゼ(HSL)を活性化し、中性脂肪を遊離脂肪酸とグリセロールに分解する⁹。

- **内臓脂肪への効果:** 成長ホルモンによる脂肪分解は、皮下脂肪だけでなく、メタボリックシンドロームの元凶である内臓脂肪に対しても強力に作用する。研究では、運動誘発性のGH分泌量は腹部内臓脂肪の減少と相関することが示されている²¹。
- **EPOC(運動後過剰酸素消費):** スロースクワット実施後も、分泌されたGHの影響により、数時間にわたって脂肪燃焼効果が持続する。これは基礎代謝の一時的な底上げを意味し、太りにくい体質への転換を促す²²。

3.4. 肌の若返り(Rejuvenation)への示唆

「スロトレで10歳若返る」といった表現が一般書等で見られるが⁸、その科学的根拠はGHおよびその下流で産生されるインスリン様成長因子-1(IGF-1)の作用にある。

- **コラーゲン合成:** GHおよびIGF-1は、真皮の線維芽細胞に作用し、コラーゲンやエラスチンの合成を促進する。加齢とともに減少する皮膚の厚みや弾力性を維持・改善する可能性がある。
- **水分保持能力:** GHは細胞外マトリックスのヒアルロン酸産生に関与しており、皮膚の水分保持能力を高め、乾燥やシワの形成を遅らせる効果が期待される²³。
- **血流改善:** 運動直後のGH分泌に加え、血管内皮細胞からのNO(一酸化窒素)産生による血管拡張作用は、皮膚への微小循環を改善し、ターンオーバーを正常化させる助けとなる。

4. アンチエイジング効果の多面的展開

4.1. 筋系: 速筋線維の選択的肥大と「若返り」

加齢による筋萎縮は、遅筋線維よりも速筋線維(Type II)において顕著に現れる。速筋は瞬発力や転倒防止のための「とっさの動き」に不可欠であるが、通常の低負荷運動(ウォーキング等)では動員されにくい。

スロースクワットでは、前述の「血流制限による低酸素化」により、本来は持久力に優れた遅筋線維

が早期に疲労困憊し、活動を停止する。脳は力を維持するために、通常であれば高負荷時にしか動員されない速筋線維を強制的に動員し始める(サイズの原理の逆説的動員) 1。

これにより、軽い負荷であっても、加齢により衰えやすい速筋線維を選択的に刺激し、肥大させることが可能となる。これは神経筋システムの「若返り」とも言える現象である。

4.2. 骨系: 低衝撃かつ効果的な骨密度維持

骨粗鬆症予防には、骨への物理的刺激(メカニカルストレス)が必要である(ウォルフの法則)。従来はジャンプや高重量負荷が推奨されてきたが、高齢者にはリスクが高い。

スロースクワットは、直接的な着地衝撃こそ少ないものの、筋肉が骨を強く牽引する力が持続的に働く。筋肉と骨の接合部におけるこの持続的な張力は、骨代謝を刺激し、骨密度の低下を抑制する効果がある 24。特に、GHやIGF-1の分泌増加は、骨芽細胞の活性化を促し、骨形成をサポートする全身的なホルモン環境を整える。

4.3. 糖代謝と血管内皮機能

スロースクワットは、2型糖尿病やインスリン抵抗性の改善にも寄与する。

- **GLUT4のトランスロケーション:** 持続的な筋収縮と低酸素刺激は、インスリン非依存的に筋細胞膜へのGLUT4(グルコース輸送体)の移動を促し、血糖の取り込みを促進する。
- **血管の柔軟性:** 高強度のウエイトトレーニングは一時的に動脈スティフネス(硬化度)を高めるリスクがあるが、LSTのような低強度・持続的運動は、血管内皮機能(FMD)を改善し、動脈硬化予防に寄与することが示唆されている 3。

5. 実践プロトコルと安全管理

5.1. 具体的な実施手順と秒数設定

効果を最大化し、かつ安全に行うための標準的なスロースクワットのプロトコルは以下の通りである 4。

表2: スロースクワット標準プロトコル

フェーズ	秒数	動作の詳細	呼吸法(重要)
開始姿勢	-	足は肩幅よりやや広く、つま先は30度外側。手は胸の前で組むか前方へ。	自然呼吸
下降 (Eccentric)	3~5秒	股関節を引き込みながら、ゆっくりと沈む。膝がつま先より前に出過ぎないように	鼻からゆっくりと吸う

		注意。	
ボトム位置	0～1秒	太ももが床と平行になる位置(または痛みが出ない限界)。バウンドさせない。	-
上昇 (Concentric)	3～5秒	ゆっくりと立ち上がる。勢いを使わない。	口から細く長く吐く
トップ位置	ノンロック	膝が伸びきる手前(約30～40度屈曲位)で止める。筋肉の緊張を抜かない。	次の吸気へ移行

- 回数: 5～10回を1セットとする。回数よりも「筋肉が熱くなる感覚(バーン感)」が出るまで続けることが重要。
- セット数: 3セット(セット間休憩は60秒程度)。
- 頻度: 週2～3回。

5.2. 呼吸法と血圧管理: バルサルバ効果の回避

高齢者や高血圧症患者が実施する際、最も注意すべきは呼吸である。力むあまり息を止めてしまう(バルサルバ法)と、胸腔内圧が急上昇し、血圧の急激な上昇や、その後の急降下による失神(迷走神経反射)を招く危険がある⁴。

安全のための呼吸ルール:

1. 止めない: 動作中は常に呼吸を続ける。「数を数えながら」行うことで自然と息が止まるのを防げる。
2. 呼気重視: 力を発揮する立ち上がり局面で、意識的に息を「ふーっ」と吐き出す。これにより血圧の過度な上昇を抑制できる。
3. 自覚的強度: 「きつい」と感じて、それは酸素欠乏によるものであり、関節や心臓への物理的負担ではないことを理解し、冷静に呼吸を続ける。

5.3. 膝関節への配慮

膝に不安がある場合は、以下のバリエーションを採用する²⁸。

- 椅子スクワット: 椅子に座ったり立ったりする動作をスローで行う。お尻が座面に触れた瞬間に立ち上がる(完全に体重を預けない)。
- 手すり支持: 転倒防止のため、椅子の背もたれや手すりを持って行う。バランス維持の負担が

減る分、より筋肉への意識集中が可能になる。

6. 結論

スロースクワット(LST)は、単なる「ゆっくり行う運動」ではなく、生体力学と内分泌生理学のメカニズムを巧みに利用した、高度なアンチエイジング・メソッドである。その本質は、「ノンロック」と「スロー動作」による筋肉内の低酸素化と、それに伴う成長ホルモンの爆発的な分泌にある。

本レポートの分析より導き出される結論は以下の通りである。

1. 内分泌学的若返り: 高齢者であっても、低負荷(自重~50% 1RM)のスロースクワットによって、若年者の高強度トレーニングに匹敵する成長ホルモン分泌を引き出すことが可能である。これは脂肪燃焼、肌のターンオーバー、全身の代謝活性化に寄与する。
2. 筋・骨格系の保全: サイズの原理を逆手に取った速筋線維の動員により、サルコペニアを効果的に予防する。また、関節への剪断力を最小化しつつ、必要な圧縮刺激を骨に与えることで、運動器の寿命を延ばす。
3. 高い安全性と受容性: 呼吸法(息を止めない)さえ遵守すれば、血圧リスクや整形外科的リスクを低く抑えられるため、運動習慣のない高齢者やリハビリ期の患者にとって理想的な運動処方となる。

総じて、スロースクワットは、超高齢社会における健康寿命の延伸、身体機能の維持、そして美容的側面に至るまで、極めて費用対効果の高い(Cost-effective)かつ身体対効果の高い介入手段であると結論付けられる。

付録: データ比較表

表3: 各種トレーニングと成長ホルモン分泌応答の比較

トレーニング種類	負荷強度 (%1RM)	乳酸蓄積	GH分泌量 (概算倍率)	高齢者への推奨度
高強度 (HIT)	80%	高	100~290倍	低 (関節・血圧リスク)
低強度 (通常速度)	50%	低	変化なし~微増	中 (効果が限定的)
スロトレ (LST)	30~50%	高	100~290倍	高 (安全かつ効果的)

加圧 (Kaatsu)	20～30%	極めて高い	290倍以上	中 (専用器具・指導者必要)
-------------	--------	-------	--------	----------------

(注: GH分泌量は安静時を1とした場合の最大増加率の概算。個人差およびプロトコルによる変動あり⁶⁾)

引用文献

1. 無理なく鍛えて高い効果！東大名誉教授が勧める「スロトレ」とは？ - 三菱地所のレジデンスクラブ, 12月 7, 2025にアクセス、
https://www.resiclub.com/explore/column/useful_for_living/enjoy/lifedesign/057
2. Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men, 12月 7, 2025にアクセス、
<https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jappphysiol.00741.2005>
3. Effects of low-intensity resistance training on muscular function and glycemic control in older adults with type 2 diabetes - NIH, 12月 7, 2025にアクセス、
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6400238/>
4. 東大名誉教授の“筋肉博士”が教える「スロースクワット」の方法。高齢者でもできる高強度の筋トレ効果を出す3つのポイント - FNNプライムオンライン, 12月 7, 2025にアクセス、
<https://www.fnn.jp/articles/-/632696?display=full>
5. 120938 - 学位論文要旨詳細 - 東京大学, 12月 7, 2025にアクセス、
<https://gakui.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/cgi-bin/gazo.cgi?no=120938>
6. Journal of Strength and Conditioning Research, 12月 7, 2025にアクセス、
<https://mhlw-grants.niph.go.jp/system/files/2008/083051/200825016B/200825016B0010.pdf>
7. Effects of Whole-Body Low-Intensity Resistance Training With Slow Movement and Tonic Force Generation on Muscular Size and Strength in Young Men - ResearchGate, 12月 7, 2025にアクセス、
https://www.researchgate.net/publication/23446054_Effects_of_Whole-Body_Low-Intensity_Resistance_Training_With_Slow_Movement_and_Tonic_Force_Generation_on_Muscular_Size_and_Strength_in_Young_Men
8. 石井直方さん流「スロトレ」で効果的に痩せる方法 [エクササイズ] All About - オールアバウト, 12月 7, 2025にアクセス、
<https://allabout.co.jp/gm/gc/374750/>
9. スロトレ～1日10分、週2回のゆっくり筋トレ, 12月 7, 2025にアクセス、
https://www.yokogawakenpo.or.jp/member/health/backnumber/files/kdno103/kdno_103_0607.pdf
10. 【超効率的トレーニング・ホルモントレ(1)】「成長ホルモン」で ..., 12月 7, 2025にアクセス、
<https://tarzanweb.jp/post-208216>
11. Effect of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men | Request PDF - ResearchGate, 12月 7, 2025にアクセス、
https://www.researchgate.net/publication/7431093_Effect_of_low-intensity_resistance_exercise_with_slow_movement_and_tonic_force_generation_on_muscular_function_in_young_men

12. Biomechanics Of The Back Squat - Part 2 | Functional Training Institute, 12月 7, 2025にアクセス、
<https://functionaltraininginstitute.com/biomechanics-back-squat-part-2/>
13. Knee Joint Kinetics in Relation to Commonly Prescribed Squat Loads and Depths - NIH, 12月 7, 2025にアクセス、<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4064719/>
14. Cumulative loads increase at the knee joint with slow-speed running compared to faster running: a biomechanical study - PubMed, 12月 7, 2025にアクセス、
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25552288/>
15. The Cumulative Loads Increase in the Knee Joint at Slow-Speed Running Compared With Faster Running: A Biomechanical Study | Request PDF - ResearchGate, 12月 7, 2025にアクセス、
https://www.researchgate.net/publication/270289341_The_Cumulative_Loads_Increase_in_the_Knee_Joint_at_Slow-Speed_Running_Compared_With_Faster_Running_A_Biomechanical_Study
16. Growth Hormone Release During Acute and Chronic Aerobic and Resistance Exercise, 12月 7, 2025にアクセス、
https://www.researchgate.net/publication/11013508_Growth_Hormone_Release_During_Acute_and_Chronic_Aerobic_and_Resistance_Exercise
17. (PDF) The Exercise-Induced Growth Hormone Response in Athletes - ResearchGate, 12月 7, 2025にアクセス、
https://www.researchgate.net/publication/10715687_The_Exercise-Induced_Growth_Hormone_Response_in_Athletes
18. Normal Physiology of Growth Hormone in Normal Adults - Endotext - NCBI Bookshelf, 12月 7, 2025にアクセス、
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279056/>
19. Pathophysiology of the Neuroregulation of Growth Hormone Secretion in Experimental Animals and the Human* | Endocrine Reviews | Oxford Academic, 12月 7, 2025にアクセス、<https://academic.oup.com/edrv/article/19/6/717/2530805>
20. スロースクワットの4つの効果 | 初級・中級・上級別のやり方を解説 - からだにいいこと, 12月 7, 2025にアクセス、<https://www.karakoto.com/34178/>
21. Effects of Exercise Training Intensity on Nocturnal Growth Hormone Secretion in Obese Adults with the Metabolic Syndrome - Oxford Academic, 12月 7, 2025にアクセス、<https://academic.oup.com/jcem/article/94/6/1979/2596805>
22. The truth about HIIT, 12月 7, 2025にアクセス、
<https://www.movementco.co.uk/post/design-a-stunning-blog>
23. Vol.7 美肌のために『効果的な運動』 - TBSテレビ, 12月 7, 2025にアクセス、
https://www.tbs.co.jp/watashi_kekkon/beauty/f7.html
24. Why Slow-Movement Resistance Training for Osteoporosis Works, 12月 7, 2025にアクセス、
<https://www.estudio.us/post/resistance-training-for-osteoporosis-slow-movement-strength>
25. Bone Density and Weight-Bearing Exercise - The Orthopedic and Sports Medicine Institute, 12月 7, 2025にアクセス、
<https://www.osmifw.com/sports-medicine/bone-density-and-weight-bearing-exercise/>

26. Strength Training Exercises For Osteoporosis, 12月 7, 2025にアクセス、
<https://purestrengthla.com/strength-training-exercises-for-osteoporosis/>
27. 【下半身引き締め】1分間筋トレ「スロースクワット」..., 12月 7, 2025にアクセス、
<https://melos.media/training/83310/>
28. 脂肪を燃やすスロースクワットの正しいやり方！セットで取り組む ..., 12月 7, 2025にアクセス、
<https://ufit.co.jp/blogs/diet/slow-squat>
29. 【書評】いのちのスクワット～スロースクワットがオススメな理由とその効果とは？, 12月 7, 2025にアクセス、
https://www.skipshoes.jp/shoes/column/post_20.html
30. 12月 7, 2025にアクセス、
<https://my.clevelandclinic.org/health/treatments/23209-valsalva-maneuver>
31. Valsalva maneuver: How to do it, uses, and warnings - MedicalNewsToday, 12月 7, 2025にアクセス、
<https://www.medicalnewstoday.com/articles/322661>
32. 高齢者にもおすすめ！負担の少ないスロートレーニング | タニタ ..., 12月 7, 2025にアクセス、
<https://www.tanita.co.jp/magazine/column/9754/>
33. The Muscles Used in Squats - Squat Biomechanics Explained - NASM Blog, 12月 7, 2025にアクセス、
<https://blog.nasm.org/biomechanics-of-the-squat>