

[研究助成 (C)]

人工知能を用いた骨盤正面 X 線画像からの四肢筋肉量推定と
活動量調査

2257010

研究代表者
(助成金受領者)愛媛大学 大学院医学系研究科
整形外科学

博士課程

西村 亮祐

共同研究者

愛媛大学 大学院医学系研究科
整形外科学

教授

高尾 正樹

[研究の目的]

1. 研究背景

近年、人工股関節全置換術（THA）を受ける患者数は増加傾向にあり、術後の機能回復の質を高めることが整形外科領域における重要な臨床課題となっている。特に高齢患者においては、術後のリハビリテーションの成否が日常生活動作（ADL）の回復に直結するため、術前から患者個々の身体機能を精度高く把握することが求められている。筋肉量の評価はリハビリテーション計画立案において中心的な指標であるが、従来の MRI や CT による評価は高コストかつ施設・設備の制約があり、日常的な臨床現場での活用には限界があった。一方、AI を用いた単純 X 線写真の解析は、既存の設備を活用した非侵襲的かつ簡便な手法として近年急速に注目を集めており、外来診療や一般的な整形外科施設においても広く応用が期待される技

術である。単純 X 線写真は整形外科診療において最も普及した画像検査であり、その活用価値を AI によってさらに引き出すことは、医療資源の効率的な活用という観点からも意義深い（図 1, 2）。また、術後の回復状況を客観的かつ継続的に把握するツールとして、wearable 端末による身体活動量の計測が有用であることが近年多くの研究で示されている。患者が日常生活の中で装着し続けることで、外来受診時だけでは把握しきれない活動レベルの変化を連続的に記録できる点で、従来の主観的評価を補完する客観的指標として優れている。これら二つの技術——AI による筋肉量の定量評価と wearable 端末による活動量計測——を組み合わせることで、術前の筋肉量評価に基づいた個別最適なりハビリテーション計画の立案が可能になると考えられる。さらに、術後の活動量を



図1 股関節正面 X 線写真



図2 人工股関節全置換術（THA）

予測・モニタリングする新たな臨床的枠組みの構築につながることを期待される。

2. 研究目的

術前の単純 X 線写真から AI により推算した股関節周囲筋の筋肉量と、THA 前後の身体活動量との相関を明らかにすること。

[研究の内容, 成果]

方法

AI による筋肉量算出

THA 術前の、骨盤・股関節の単純 X 線写真から、AI を用いて撮影範囲内の筋肉量を算出した。この AI は大阪大学・奈良先端大学院大学と共同研究している AI ツールである。この AI は CT で筋肉・脂肪・骨を分けて作った教師データを用い、X 線画像を筋ごとの定量画像に分解する multi-channel image translation を学習している。さらに、骨は剛体で位置合わせしやすいという性質を利用し、推定精度を高めている [1]。この AI からは、大殿筋、中殿筋、小殿筋、腸骨筋、内閉鎖筋、外閉鎖筋、恥骨筋、梨状筋、大腿筋膜張筋を算出できる。

中高強度身体活動 (moderate-to-vigorous physical activity: MVPA)

3～5.9METs の身体活動強度である MVPA は、単なる歩数よりも活動の質を反映する。WHO は成人に対して週 150-300 分の中強度活動、または 75-150 分の高強度活動を推奨しており、MVPA は身体機能回復の評価軸として臨床的意義が高い [2, 3] (図 3)。また、MVPA は、健康アウトカムと最も強く関連する身体活動強度領域の一つであり、心血管イベント、代謝障害、死亡リスク低下との関連が確立している [4]。

THA 後患者でも、加速度計由来 MVPA は術後の歩数、患者立脚型機能、QOL の改善と併せて追跡すべき指標とされ、少なくとも術後 3 か月から 1 年、さらに 3 年にかけて改善する

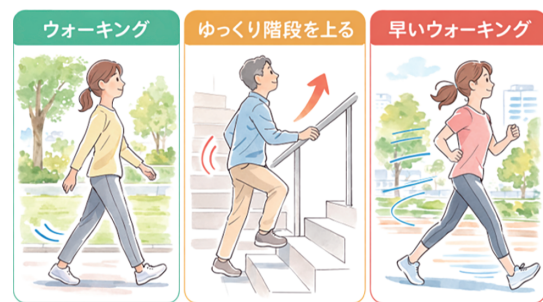


図 3 代表的な MVPA の運動



図 4 オムロン社活動量計

可能性が報告されている [5, 6]。

MVPA は、歩数や総エクササイズ量のみでは捉えにくい「十分な強度を伴う活動回復」を評価できる点にある。THA 後の患者では疼痛軽減だけでなく、立脚期安定性、骨盤制御、回旋安定性が揃ってはじめて MVPA が増えると考えられるため、筋肉の質的な回復を反映する可能性がある [5-7]。

身体活動計測

身体活動はオムロンヘルスケア社製 Active style Pro HJA-750C を用いて評価した。HJA-750C は 3 軸加速度センサを搭載し、10 秒ごとに METs を記録し、歩行と生活活動を独自アルゴリズムで識別できる [8, 9]。有効測定日は、装着時間 600 分 / 日 (10 時間 / 日) 以上を満たした日と定義した。これは高齢者や一般成人を対象とした加速度計研究で広く用いられる [10-12] (図 4)。

対象患者と測定項目

当院で施行した THA の患者、86 例 (全員女性)、平均年齢は 63.5 ± 9.2 歳であった。

AI 算出の股関節周囲筋の筋肉量と、活動量計から算出した MVPA の活動時間と、活動時間×活動強度 (METs) で表されるエクササイズ量 (総, MVPA) を算出した。

計測地点は、術前、入院中 (術後 2 週)、3 か月の 3 地点を計測した。

統計解析

術前筋肉量 (g) を説明変数、術前・入院中・3 か月の身体活動指標を目的変数とし、被験者内相関を考慮した generalized estimating equation (GEE) を用いて縦断解析した [13]。係数は標準化 β として表示し、両側 $p < 0.05$ を有意とした。

結果

術前筋肉量を説明変数、術前・入院中・3 か月の身体大殿筋、梨状筋、外閉鎖筋、内閉鎖筋、恥骨筋、大腿筋膜張筋、および合計筋量は、活動量 (Ex 合計)、MVPA Ex、MVPA 時間のすべてに対して有意な正の関連を示した。

大殿筋は、活動量 (標準化 $\beta=0.285$, $p=0.011$)、MVPA Ex (標準化 $\beta=0.280$, $p=0.011$)、MVPA 時間 (標準化 $\beta=0.279$, $p=0.011$) のいずれとも有意に関連した。中殿筋は、活動量 (標準化 $\beta=0.211$, $p=0.076$)、MVPA Ex (標準化 $\beta=0.209$, $p=0.076$)、MVPA 時間 (標準化 $\beta=0.210$, $p=0.071$) といずれも正の傾向を示したが、有意には至らなかった。小殿筋も同様に、活動量 (標準化 $\beta=0.216$, $p=0.053$)、MVPA Ex (標準化 $\beta=$

0.212, $p=0.054$)、MVPA 時間 (標準化 $\beta=0.211$, $p=0.052$) と一貫して正の傾向を示したものの、有意差は認めなかった。

腸骨筋についても、活動量 (標準化 $\beta=0.192$, $p=0.077$)、MVPA Ex (標準化 $\beta=0.187$, $p=0.083$)、MVPA 時間 (標準化 $\beta=0.185$, $p=0.085$) といずれも有意ではなかった。

一方、梨状筋は活動量 (標準化 $\beta=0.204$, $p=0.045$)、MVPA Ex (標準化 $\beta=0.199$, $p=0.047$)、MVPA 時間 (標準化 $\beta=0.200$, $p=0.044$) のすべてで有意な正の関連を示した。外閉鎖筋は、活動量 (標準化 $\beta=0.247$, $p=0.008$)、MVPA Ex (標準化 $\beta=0.245$, $p=0.008$)、MVPA 時間 (標準化 $\beta=0.247$, $p=0.007$) と、比較的強い正の関連を示した。内閉鎖筋も、活動量 (標準化 $\beta=0.239$, $p=0.035$)、MVPA Ex (標準化 $\beta=0.237$, $p=0.033$)、MVPA 時間 (標準化 $\beta=0.241$, $p=0.027$) において有意な正の関連を認めた。恥骨筋は、活動量 (標準化 $\beta=0.254$, $p=0.018$)、MVPA Ex (標準化 $\beta=0.250$, $p=0.018$)、MVPA 時間 (標準化 $\beta=0.248$, $p=0.018$) のすべてで有意であった。大腿筋膜張筋も、活動量 (標準化 $\beta=0.187$, $p=0.042$)、MVPA Ex (標準化 $\beta=0.185$, $p=0.041$)、MVPA 時間 (標準化 $\beta=0.180$, $p=0.044$) に対して有意な正の関連を示した。さらに、合計筋量についても、活動量 (標準化 $\beta=0.271$, $p=0.018$)、MVPA Ex (標準化 $\beta=0.267$, $p=0.018$)、MVPA 時間 (標準化 $\beta=0.266$, $p=0.018$) のすべてに有意な正の関連を認めた (図 5, Table 1)。

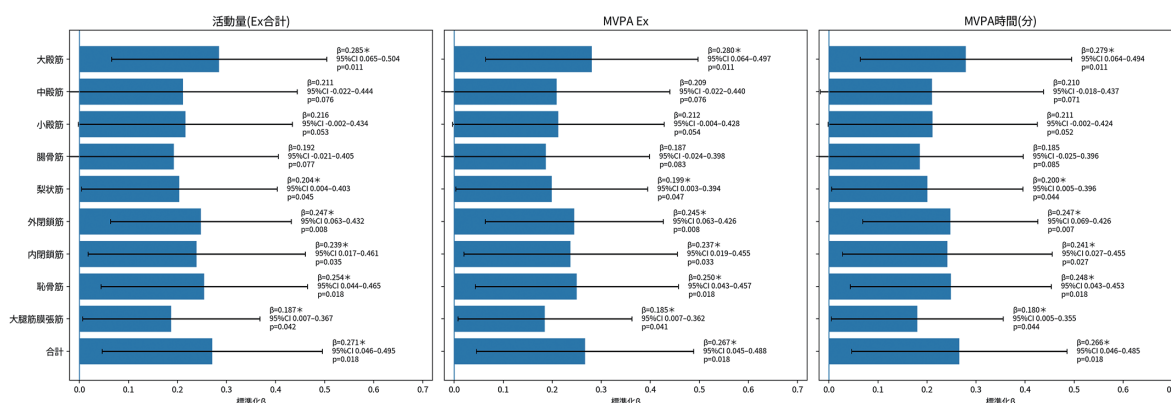


図5 各筋肉と活動量の関連

Table 1 各筋肉と活動量の関係

筋肉	活動量 β	活動量 95%CI	活動量 p 値	MVPA Ex β	MVPA Ex 95%CI	MVPA Ex p 値	MVPA 時間 β	MVPA 時間 95%CI	MVPA 時間 p 値
大殿筋	0.285*	0.064-0.507	0.011	0.280*	0.062-0.499	0.011	0.279*	0.062-0.497	0.011
中殿筋	0.211	-0.022-0.444	0.076	0.209	-0.022-0.440	0.076	0.21	-0.018-0.438	0.071
小殿筋	0.216	-0.004-0.436	0.053	0.212	-0.004-0.429	0.054	0.211	-0.003-0.425	0.052
腸骨筋	0.192	-0.021-0.405	0.077	0.187	-0.024-0.398	0.083	0.185	-0.026-0.396	0.085
梨状筋	0.204*	0.004-0.403	0.045	0.199*	0.002-0.397	0.047	0.200*	0.006-0.394	0.044
外閉鎖筋	0.247*	0.064-0.431	0.008	0.245*	0.064-0.427	0.008	0.247*	0.067-0.427	0.007
内閉鎖筋	0.239*	0.016-0.461	0.035	0.237*	0.019-0.455	0.033	0.241*	0.027-0.454	0.027
恥骨筋	0.254*	0.044-0.464	0.018	0.250*	0.042-0.458	0.018	0.248*	0.041-0.455	0.018
大腿筋膜張筋	0.187*	0.007-0.367	0.042	0.185*	0.008-0.362	0.041	0.180*	0.005-0.355	0.044
合計	0.271*	0.046-0.495	0.018	0.267*	0.045-0.490	0.018	0.266*	0.044-0.488	0.018

考察

今回の結果は、股関節周囲筋のうち、大殿筋および深部外旋筋群、ならびに恥骨筋、大腿筋膜張筋、合計筋量は、THA 周術期から術後 3 か月までの身体活動指標と有意に関連していた。一方で、中殿筋、小殿筋、腸骨筋は正の関連傾向を示したものの、有意な関連には至らなかった。これは、THA 周術期から術後 3 か月にかけての身体活動が、一般に注目されやすい外転筋群だけでなく、股関節の深部安定化に関与する筋群の影響を強く受けている可能性を示している。

まず、大殿筋が有意であったことは臨床的に妥当である。大殿筋は股関節伸展の主働筋であり、立ち上がり、歩行推進、階段昇降など、MVPA を構成する高強度寄りの日常動作に深く関与する。歩行関連研究では、大殿筋や中殿筋の筋活動は歩行課題や支持性の変化に応じて増大しうることを示されており [14]、また THA 後の身体活動は術後 3 か月以降に増加し、歩数や患者立脚型機能の改善と関連することが報告されている [5, 6]。

このため、術前的大殿筋量が豊富な症例ほど、術前から術後 3 か月までを通した身体活動を高い水準で維持・回復しやすかった可能性がある。

一方で、中殿筋や小殿筋が有意に至らなかった点は重要である。中殿筋は股関節外転筋とし

て THA 領域で最も注目され、術前の中殿筋萎縮が術後の跛行や歩行能力の予測因子となることも報告されている [7]。しかし、中殿筋は主に片脚支持時の骨盤安定性や歩行の質に関わる一方、今回のアウトカムは「歩行能力そのもの」ではなく、術前・入院中・3 か月を通した実生活下の活動量と MVPA であった。この違いが、中殿筋で有意に至らなかった一因と考えられる。加えて、中殿筋は代償動作や対側機能の影響を受けやすく、歩行速度の上昇のみでは選択的な活動増加が明確でない可能性もある [14]。

深部筋、特に梨状筋、外閉鎖筋、内閉鎖筋、恥骨筋が有意であった理由としては、これらが股関節求心位の保持、回旋制御、微細な荷重応答に関わるためと考えられる。外閉鎖筋は大腿骨頭頸部の下方に走行し、股関節の安定化に寄与するとされる [15]。また、梨状筋および内閉鎖筋を含む短外旋筋群は、THA 後の後方安定性や内旋抵抗に関与し、股関節の過剰な内旋を抑制する役割が示されている [16, 17]。これらの深部筋は、単なる関節運動の出力筋というより、荷重時の不安定感を減らし、回旋方向の微細な制御を担う「深部安定化筋」として機能すると解釈できる。そのため、深部筋量が保たれている症例ほど、疼痛や不安定感を抑えながら、より高い活動量や MVPA を達成しやすかった可能性がある。

Limitaion

本研究にはいくつかの限界がある。第一に、症例数が大きくはなく、特に中殿筋・小殿筋のように正の傾向を示しながら有意に至らなかった筋では、検出力不足の影響が考えられる。第二に、筋肉量は主としてベースラインの解剖学的指標であり、術後の筋機能回復や神経筋協調そのものを直接反映するものではない。第三に、身体活動は加速度計で客観評価しているものの、疼痛、脚長差、術式、リハビリテーションの遵守、反対側股関節の状態、年齢やBMIなどの交絡因子を十分に調整していない。第四に、今回の解析は関連を示したものであり、因果関係を証明するものではない。さらに、THA 症例に限定された単施設データであるため、他集団への一般化には慎重が必要である。

結論

THA 周術期から術後3か月までの身体活動指標は、大殿筋に加えて、梨状筋、外閉鎖筋、内閉鎖筋、恥骨筋などの深部股関節周囲筋と有意に関連した。一方で、一般に注目される中殿筋は正の傾向を示しつつも有意には至らなかった。これらの結果は、THA 後の身体活動やMVPA の維持・向上には、外転筋のみならず、股関節の深部安定化筋群を含めた包括的評価と介入が重要であることを示唆する。

[参考文献]

1. Gu Y, MSKdeX: Musculoskeletal decomposition from an X-ray image for fine-grained estimation of lean muscle mass and muscle volume. In: MICCAI 2023 Accepted Papers.
2. World Health Organization. Physical activity recommendations for adults. WHO; 2020.
3. Bull FC, World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br J Sports Med.* 2020; 54: 1451-62.
4. Ekelund U, Joint associations of accelerometer-measured physical activity and sedentary time with all-cause mortality: a harmonised meta-analysis in more than 44,000 middle-aged and older individuals. *Br J Sports Med.* 2020; 54: 1499-506.

5. Matsunaga-Myoji Y, Three-Year Follow-Up Study of Physical Activity, Physical Function, and Health-Related Quality of Life After Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2020; 35: 198-203.
6. Harada S, Predictors of physical activity recovery after total hip arthroplasty: a prospective observational study. *Int Orthop.* 2024; 48: 753-60.
7. Nankaku M, Preoperative gluteus medius muscle atrophy as a predictor of walking ability after total hip arthroplasty. *Phys Ther Res.* 2016; 19: 8-12.
8. OMRON Healthcare Co., Ltd. Active style Pro HJA-750C product information.
9. OMRON Healthcare Co., Ltd. HJA-750C feature page: tri-axial accelerometer, 10-second METs recording, and discrimination of locomotive/non-locomotive activity.
10. Herrmann SD, Impact of accelerometer wear time on physical activity data: a NHANES semisimulation data approach. *Br J Sports Med.* 2014; 48: 278-82.
11. Gorman E, Accelerometry analysis of physical activity and sedentary behavior in older adults: a systematic review and data analysis. *Eur Rev Aging Phys Act.* 2014; 11: 35-49.
12. Silva FM, The sedentary time and physical activity levels on physical fitness in the elderly: a comparative cross sectional study. *Int J Environ Res Public Health.* 2019; 16: 3697.
13. Zeger SL, Models for longitudinal data: a generalized estimating equation approach. *Biometrics.* 1988; 44: 1049-60.
14. Lee SK, Muscle activity of the gluteus medius at different gait speeds. *J Phys Ther Sci.* 2014; 26: 1915-7.
15. Kawaguchi Y, Functional and clinical anatomy of the obturator externus muscle: cadaveric studies and clinical findings for total hip arthroplasty in the posterior approach. *J Orthop.* 2021; 25: 93-97.
16. Solomon LB, Anatomy of piriformis, obturator internus and obturator externus: implications for the posterior surgical approach to the hip. *J Bone Joint Surg Br.* 2010; 92: 1317-24.
17. Baba K, Impacts of external rotators and the ischiofemoral ligament on preventing excessive internal hip rotation: a cadaveric study. *J Orthop Surg Res.* 2022; 17: 19.

[成果の発表、論文など]

- ・第40回 日本整形外科学会基礎学術集会
ポスター発表
- ・第56回 日本人工関節学会
一般演題（口演発表）
- ・第19回 日本CAOS学会
(Computer Assisted Orthopaedic Surgery)
一般演題（口演発表）