

## 日本人女性における歩行動作, 下肢筋量および年齢との関連性

中島, 弘貴

<https://doi.org/10.15017/2534454>

---

出版情報 : Kyushu University, 2019, 博士 (芸術工学) , 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

日本人女性における歩行動作，  
下肢筋量および年齢との関連性  
*The relationships between gait, lower limb  
muscle mass, and age in Japanese female adults*

中島 弘貴

*Hiroki Nakashima*

2019年9月

# 目次

第1章	序論	1
1.1.	人口の高齢化ならびに健康寿命の促進	1
1.2.	移動能力の維持の重要性	1
1.3.	歩行動作の老化とその原因	2
1.4.	加齢による歩行中の下肢運動の変化	2
1.5.	下肢筋の評価方法とその特性	3
1.6.	下肢筋量の老化の特徴	4
1.7.	下肢筋量と歩行動作との関係性	4
1.8.	高齢者における下肢筋の変化と歩行への影響	5
1.9.	先行研究における限界点	5
1.10.	下肢機能および歩容の性差	6
1.11.	歩行動作, 下肢筋量および年齢との関係性の応用性	6
1.12.	本研究の目的	7
第2章	女性における歩行動作の加齢変化の検討	9
2.1.	はじめに	9
2.2.	方法	11
2.2.1.	被験者	11
2.2.2.	身体計測	12
2.2.3.	歩行動作の測定および解析	12
2.2.4.	統計処理	19
2.3.	結果	20
2.3.1.	被験者の身体特性	20
2.3.2.	年齢と時間因子・距離因子との関係性	21
2.3.3.	年齢と下肢関節運動指標との関係性	23
2.4.	考察	26
2.4.1.	年齢と歩行関連指標との関係性	26
2.4.2.	年齢と下肢関節運動との関係性	27
2.4.3.	足関節運動の老化と歩行動作への影響	28
2.4.4.	性差の影響	28
2.4.5.	本章における限界点	29
第3章	女性における歩行動作の老化への下肢筋量の影響	30

3.1.	はじめに	30
3.2.	方法	32
3.2.1.	被験者	32
3.2.2.	身体計測	33
3.2.3.	歩行動作の測定および解析	33
3.2.4.	下肢筋横断面積の測定および解析	35
3.2.5.	統計処理	38
3.3.	結果	39
3.3.1.	被験者の身体特性	39
3.3.2.	全年齢群における下肢筋量と歩行動作との関係性	40
3.3.3.	高齢群における下肢筋量と歩行動作との関係性	62
3.4.	考察	78
3.4.1.	女性における下肢筋量の加齢変化	78
3.4.2.	高齢期における下肢筋量の加齢変化	78
3.4.3.	女性における下肢筋量の加齢変化が歩行に与える影響	79
3.4.4.	歩行関連指標と下肢筋量との相関関係	79
3.4.5.	下肢筋量と蹴り出し動作における足関節の底屈運動との関係性	81
3.4.6.	高齢群の下肢筋量の変化と歩行への影響	82
3.4.7.	まとめ	84
3.5.	第2章および第3章のまとめ	85
第4章	高齢女性における下肢筋量の増加が歩行動作の変化に与える影響	89
4.1.	はじめに	89
4.2.	方法	90
4.2.1.	被験者	90
4.2.2.	プロトコル	90
4.2.3.	歩行動作および下肢筋量の測定	91
4.2.4.	運動・生活介入	92
4.2.5.	データ追跡	95
4.2.6.	データ分析	95
4.3.	結果	96
4.3.1.	介入前後の下肢筋量の変化の特徴と参加者の分類	96
4.3.2.	介入行動による歩行能力の変化	98
4.3.3.	検討対象の歩行指標に関して	99
4.3.4.	歩数の記録	101
4.3.5.	介入前後の歩行指標の変化	102
4.4.	考察	111

4. 4. 1.	介入行動による下肢筋量の変化とその傾向.....	111
4. 4. 2.	介入前後の下肢筋量と歩行動作との関係性.....	112
4. 4. 3.	まとめ .....	114
4. 4. 4.	本章の限界点.....	114
<b>第 5 章</b>	<b>総括 .....</b>	<b>116</b>
5. 1.	各章のまとめ .....	116
5. 2.	歩行動作, 下肢筋量および年齢との関係性.....	118
5. 3.	本研究の知見の応用性 .....	119
5. 4.	本研究の限界 .....	120
5. 5.	今後の展望 .....	121
5. 6.	結論 .....	122

## 第1章 序論

### 1.1. 人口の高齢化ならびに健康寿命の促進

2018年版の高齢者白書によると、日本における人口高齢化は年々進行しており、2017年度の高齢化率は過去最高の27.7%を記録した<sup>1)</sup>。また人口高齢化は今後も続き、2065年には人口の約40%が高齢者になると予測される<sup>1)</sup>。この人口高齢化の深刻化に伴う社会課題の一つとして要介護者(要介護認定者)の増加(主に65歳以上の高齢者)が挙げられる<sup>2)</sup>。要介護とは、脳血管疾患、認知症、老化による衰弱、骨折や転倒などにより、歩行や入浴、排泄などの日常生活動作(ADL)の自立が困難となり、生活を営む上で他者からの介護が必要な状態を指す<sup>3)</sup>。従って要介護者の増加を防止するためには、要介護となるリスクが高い高齢者に対し、ADLの自立を支援する取り組みや対策が必要である。

一方で近年の人口高齢化に伴い介護予防・健康促進に関する研究が進み、運動・生活習慣のガイドラインが提案されるなどの対策が講じられてきた<sup>4)5)</sup>。これらの対策もあり、日本人の平均寿命・健康寿命(日常生活に制限のない期間)は共に延長しているが<sup>6)</sup>、平均寿命に対し健康寿命の延長は比較的小さい<sup>6)</sup>。要介護者の増加に歯止めをかけ高齢者の自立生活を支援するためにも、高齢者の健康寿命をさらに延ばしていくことが必要不可欠である。

### 1.2. 移動能力の維持の重要性

高齢者の自立生活を妨げる原因の一つとして、傷害や病気などの何らかの原因により歩行能力が低下し、その結果として自立した歩行動作が困難になることが挙げられる<sup>7)</sup>。特に高齢者では、加齢によって運動能力などの身体機能が衰え、それに伴い歩行能力の低下が進行する<sup>7)</sup>。歩行能力の低下は転倒の危険性を高め<sup>8)</sup>、転倒は大腿骨の骨折などの重度な傷害を引き起こし<sup>9)</sup>、そして入院や転倒再発の恐怖による歩行機会の減少を招く。これらは廃用

症候群(身体機能の大幅な低下など)の原因となり,身体機能の低下を引き起こす。そして自立歩行が維持できなくなるほど歩行能力が低下することで,寝たきり生活や車いす生活等の要介護生活を余儀なくされる<sup>10)</sup>。このように歩行能力の低下は歩行機会の減少,転倒リスクの増加や廃用性症候群の原因となり,さらなる身体機能の低下を引き起こしかねない。このような背景から,高齢者にとって一度失った歩行能力を再獲得することは非常に困難である。従って歩行能力の低下が深刻となる前に,早期的な予防を施すことが必要であると考えられる。

### 1.3. 歩行動作の老化とその原因

加齢による歩行能力の低下に伴い,高齢者には特有の歩行特徴が現れる。高齢期における歩容の特徴として歩行速度<sup>11)12)13)</sup>,歩幅<sup>12)13)</sup>および歩調の減少<sup>13)</sup>,遊脚期の減少および立脚期および両脚支持期の延長<sup>13)</sup>などの歩行関連指標の老化が知られている<sup>14)15)</sup>。これらの歩行能力の低下は,中年期より進行する加齢に伴う身体機能の低下によってもたらされる<sup>11)16)</sup>。特に下肢筋力の減弱<sup>13)17)</sup>や下肢関節の可動域の制限<sup>18)19)</sup>などの下肢機能の老化,もしくはバランス能力の低下<sup>20)21)</sup>のような下肢機能の影響を受ける身体機能の老化が歩行能力の低下に大きく影響を与えている。従って歩行動作の老化の特徴を掴むには歩行中の下肢運動に着目する必要がある。

### 1.4. 加齢による歩行中の下肢運動の変化

歩行動作は複数の下肢関節運動が協調し連続して行われることで成立する。この歩行中の下肢関節運動を評価する方法としては,股関節,膝関節および足関節の角度や角速度などが用いられる。高齢者における小さい歩幅や遅い歩行速度は,加齢によって股関節や膝関節の屈曲角度,足関節の踵接地時の背屈角度および離地時の底屈角度が減少することで生じる<sup>13)22)</sup>。しかし,それらの歩行の各種指標が年齢の進行に伴って同じように変化するとは考

えられない。歩幅, 歩調および歩行速度が若年者と同等な高齢者において, 股関節の屈曲角度, 伸展角度の増加と足関節の底屈角度の減少などの下肢関節運動の変化がすでに生じていることが報告されている<sup>18)23)24)</sup>。つまり, 下肢関節の運動をはじめとし, 歩行に関連する要素は加齢によって同調して変化するのではなく, 加齢変化が現れる時期や加齢との関係の強さは各歩行指標によって異なることが考えられる。特に下肢関節の運動は主に下肢筋の活動により成立しており, 股関節, 膝関節および足関節の主働筋はそれぞれ異なる。そのため下肢の各関節への加齢の影響の強さが異なるならば, 下肢関節運動を動かす原動力である下肢筋に原因があると考えられる。

### 1.5. 下肢筋の評価方法とその特性

下肢の筋肉の減弱は筋力や筋量の減少として反映される<sup>13)17)25)26)</sup>。股関節および膝関節の伸展・屈曲筋力や足関節の底屈・背屈筋力は加齢とともに減少し, 歩行能力の低下の原因となっている<sup>17)27)28)</sup>。しかしながら筋力の測定には, 最大筋張力の発揮が必要であり, 関節, 骨および筋肉にかかる負担が大きいという問題がある。対して超音波画像診断を用いた筋量の測定は, 対象とする筋肉に超音波プローブを当てることで撮影ができ, 得られた画像から筋肉の厚み(筋厚)や面積(筋面積)を評価する手法である。この手法は最大筋張力の発揮を必要とせず, 安静状態での撮影が可能である, などの利便性や安全性に優れている。また大腿部の筋量は膝関節伸展力との間に正の相関関係がある<sup>29)</sup>。さらに筋力, バイオプシーによる筋線維診断, および筋量の3つの評価手法を用いた研究から, 各指標の中でも筋量は, 加齢による筋肉の減弱が強く反映していたと報告されている<sup>30)</sup>。これらのことから, 筋量測定は高齢者における下肢筋肉の減弱を判断する指標として有効な評価法であると言える。



## 1.6. 下肢筋量の老化の特徴

加齢による下肢筋量の低下の進行には、性別<sup>30)</sup>や筋肉の部位<sup>30)31)32)</sup>によって異なるという特徴がある。複数の筋部位を対象とした先行研究によると、若年者に対する高齢男性の筋面積は大腿四頭筋が26.4%、ハムストリクスが17.9%それぞれ小さく<sup>33)</sup>、年代間の差は大腿四頭筋にてより大きい。同様の研究でも、加齢によって大腿の前面・後面のどちらも筋量が減少したが、特に大腿四頭筋などが位置する大腿前面の筋への加齢の影響がより大きかったと報告されている<sup>31)32)</sup>。

他方、女性の下肢の筋量に関しては、若年者に対し高齢者の大腿四頭筋の筋面積が33.0%小さく<sup>34)</sup>、男性よりも年代間の差が大きかった。このように加齢に伴い下肢筋量は減少するが、その減少率は各筋群や性別によって異なる。つまり下肢の各筋群が制御している各関節(股、膝および足関節運動)への老化の影響の強さは同等ではないと考えられる。そして、これらの各筋群間の老化の違いによって、歩行動作を構成する関節運動の老化の程度や進行に違いが生じていると推察される。

## 1.7. 下肢筋量と歩行動作との関係性

筋量の減少は筋肉の減弱を反映しており、これは筋によって制御される関節運動にも影響を及ぼす。特に大腿部や下腿部の筋は、股関節、膝関節および足関節を制御する筋群が位置しているため、これらの筋群の加齢性の減少は下肢関節運動ひいては歩行動作に与える影響が大きいと考えられる。歩行動作と下肢筋量との関係性について、高齢女性の下腿部の筋量と歩幅、歩行速度との間には負の相関が存在する<sup>35)</sup>。また加齢に伴う大腰筋や大腿部伸筋群の筋量の減少が歩行速度の低下に影響を与える<sup>36)</sup>。このように大腿部や下腿部の各種筋群の筋量は歩行に影響を与え、加齢に伴う歩行能力の低下の一因となっている。歩幅や歩行速度の大きさは、連続し協調して行われる股関節、膝関節および足関節の運動によって総合的に決定されるパラメータである。そのため下肢筋量の加齢性の減少により歩行速度や

歩幅が減少しているのであれば、下肢関節運動においても歩行能力の低下の原因となる変化が生じていると思われる。しかしながら下肢筋量と歩行動作との関係性に着目した研究の中で歩行中の各種運動(下肢関節運動や足部の拳上など)の老化の程度や進行に言及したものはほとんどない。

## 1.8. 高齢者における下肢筋の変化と歩行への影響

下肢筋量が歩行中の各種動作に与える影響は未だ不明点が多い。しかしながら下肢筋量の増大が歩行能力の向上に貢献する可能性は高い。先行研究では個人の下肢筋や歩容の変化を追跡調査することで、下肢筋力トレーニングや日常の身体活動量の増加<sup>37)</sup>などの運動・生活習慣への介入による下肢筋増大とそれらが歩行能力に与える影響が報告されている。高齢者への運動・生活介入に関して、下肢筋トレーニングを中心とした運動プログラムにより歩行能力やバランス能力が向上したことが報告されている<sup>38)</sup>。またトレッドミルを用いた歩行トレーニングの実施により高齢者の歩行能力やバランス能力、柔軟性、歩行時の姿勢制御能力などの運動機能が改善している<sup>39)</sup>。要支援1から要介護1の在宅高齢者に対して、週1回の運動バランス能力ならびに下肢筋力の強化のための運動介入を3カ月間実施し、身体機能および歩行能力が改善されている<sup>40)</sup>。このように虚弱者や高齢者の歩行能力改善を目的とした下肢筋に対する介入の有用性が認められており、下肢筋増強すなわち下肢筋量を増加することは歩行能力の改善あるいは老化防止に効果的であると考えられる。

## 1.9. 先行研究における限界点

歩行改善に関する先行研究は同一対象者を追跡調査することで下肢筋の増大による歩行能力への影響を検討している。これらの研究の問題点として、歩行評価がTUG(Timed Up and Go Test)や10m最大歩行速度などの簡易的なものにとどまっていることが挙げられる。これらは移動能力を簡便に測れる利点があるが、歩行特徴を詳細に把握できない。そのため下肢筋の変化が歩行に与える影響に関する先行研究においては、筋力あるいは筋量の増強に

より歩行能力(歩行速度や歩幅)が改善したという言及に留まっており,歩行能力の向上に伴い歩行中の下肢動作がどのように変化したかは不明であるという問題点が残る。従ってTUGなどの簡易的な評価ではなく,動作解析を用いた詳細な歩行分析を行い,同一対象者における下肢筋量の増加が歩行動作の変化に与える影響について検討する必要がある。

## 1. 10. 下肢機能および歩容の性差

歩行動作,下肢筋量および年齢との関係性を検討するに当たり,これらの要素への性差の影響を考えなければならない。男女両方の下肢筋を対象とした研究では,大腿四頭筋の筋量<sup>34)</sup>や膝関節の伸展筋力<sup>41)42)</sup>の加齢性の減少は男性よりも女性にて大きいなどの性差が報告されている。歩行動作においても同様,歩行速度や歩幅<sup>43)44)</sup>,歩行時の下肢関節運動や筋活動の違い<sup>45)</sup>などの性差がそれぞれ報告されている。また女性の歩幅および歩行速度の加齢性の減少は男性よりも早く始まり,減少の程度も大きい<sup>46)47)</sup>。下肢関節運動に関しても,加齢に伴う立脚中期での膝の伸展の増加や遊脚期での膝の屈曲の減少の程度は男性と女性で異なると報告されている<sup>22)</sup>。以上のことから下肢筋および歩行動作の特徴や老化は男女間で異なり,さらに加齢の影響は男性よりも女性において深刻であると考えられる。

## 1. 11. 歩行動作,下肢筋量および年齢との関係性の応用性

これまでの知見や推察を踏まえると,下肢筋量測定を高齢者の自立歩行支援へと応用するには,まず歩行動作(特に歩行中の下肢運動),下肢筋量および年齢との関係性を詳細に把握する必要がある。そしてそれらの関係性が同一対象者の下肢筋および歩行の変化を追跡した場合においても,同様の傾向が見られるかを検討する必要がある。これらを明らかにすることが出来れば,下肢筋量や歩行動作の年齢別標準値の作成,下肢筋量診断に基づく歩行改善方法の提案等など,新たな介護予防法の提案が期待できる。

## 1. 12. 本研究の目的

加齢に伴う身体機能の低下により歩行動作は変化し、その結果として歩行能力は低下する。先行研究を踏まえると歩行能力の低下に先んじて歩行中の下肢関節運動は老化の兆候を示すと考えられる。しかしながら、老化の進行時期や加齢による変化の大きさ等の歩行中の下肢関節運動の老化の詳細は未だ明らかになっていない。加えて、歩行中の下肢運動は下肢筋の活動により成り立つため、加齢性の下肢筋の減弱が歩行動作の変化に与える影響は少ない。下肢筋評価法である下肢筋量測定は利便性や安全性に優れるという利点を持ち、下肢筋量は筋力との高い相関を示し、加齢による筋肉の減弱を反映するため、介護予防への応用が期待されている。歩行との関係性においても、大腿部や下腿部の筋量は歩幅や歩行速度に影響を与えることが報告されており、新たな自立歩行支援方法への応用が期待できる。しかしながら歩行動作、下肢筋量および年齢の3つの要素間の関係性に言及した研究や介護予防への応用事例はほとんどない。加えてこれらの3つの要素には性差が存在し、男性に対し女性において加齢の影響はより深刻である。そこで本論文では日本人女性における歩行動作、下肢筋量および年齢との関係性、そしてそれらの関係性が同一個人内における変化(縦断的な変化)においても同様の傾向が見られるかを明らかにすることを目的とした。

第2章および第3章においては、若年者から中年層を含む高齢者までの自立歩行が可能である成人女性を対象とした横断的な研究、第4章では高齢女性18名を約3カ月追跡する縦断的な研究をそれぞれ行った。

第2章では、女性において年齢と歩行指標との間にどのような関係性があるかを検討することを目的とした。広い年齢層を対象とし、一般的な歩行指標である歩行速度や歩幅、下肢運動の指標である歩行中の下肢関節運動などを評価することで、これらの歩行指標が年齢の増加に伴いどのように変化するかを検討した。

第3章では歩行指標、大腿部・下腿部の筋量および年齢との関係性を考察することを目的とした。対象とした筋群は、大腿筋群の膝関節伸筋群、膝関節屈筋群および下腿筋群の足関節底屈筋群、足関節背屈筋群である。これらの各筋群の筋量が、年齢との相関関係が高かった歩行パラメータを中心とした各種歩行指標に与える影響を検討した。

第4章では、第2章および第3章にて関連が認められたパラメータを中心に、歩行指標および下肢筋量の縦断的な変化を検討することを目的とした。自立歩行が可能な高齢女性を対象とし、約3カ月の運動・生活介入を行った。そして介入前後での下肢筋量および歩行動作の変化、さらには介入後の下肢筋量の増加が歩行指標の変化に与える影響を検討した。

## 第2章 女性における歩行動作の加齢変化の検討

### 2.1. はじめに

高齢者の日常生活を阻害する要因の一つとしては、身体機能の老化によって生じる歩行能力の低下が挙げられる。高齢者が身体的に自立した日常生活を送るためには、加齢による歩行能力の低下を防止・抑制することが望ましく、その策を考えるためには歩行の加齢変化を理解することが重要である。高齢者における歩容の変化として歩行速度、歩幅および歩調の減少、遊脚期の減少および立脚期および両脚支持期の延長などの歩行関連指標の老化が知られている<sup>13)14)</sup>。これらの歩容の変化は下肢筋力の減弱や下肢関節の可動域の制限などの下肢の機能の老化を補うために生じると考えられており<sup>13)17)18)</sup>、歩行中の下肢の運動には加齢の影響が反映されやすいと予測される。先行研究では股関節や膝関節の屈曲角度、足関節の踵接地時の背屈角度および離地時の底屈角度などが加齢によって減少し、それらが歩幅や歩行速度の減少を引き起こすと報告されている<sup>13)22)</sup>。また若年者と同等の歩行速度や歩幅を有する高齢者においても、下肢関節運動への加齢の影響が確認されている。歩幅、歩調および歩行速度が若年者と同等の高齢者を対象とした先行研究では、高齢者における股関節の屈曲角度、伸展角度および股関節の伸展モーメントの増加と足関節の底屈角度の減少などの下肢関節運動の変化が報告されている<sup>18)23)24)</sup>。このように下肢関節運動指標は歩行速度や歩幅の観測では判断できない若年者と高齢者の歩容の違いを反映し得る。従って歩行動作における関節角度および角速度の加齢変化の基礎データを提供できれば、高齢者の自立歩行支援を行うための重要な知見になりうる。

他方、歩行動作および、その加齢変化には性差がある。女性は男性と比べ歩幅が短いが歩調が速く<sup>43)</sup>、また女性の歩幅および歩行速度の加齢性の減少は男性よりも早く始まり、減少の程度も大きい<sup>46)47)</sup>。下肢関節運動に関しても、加齢に伴う立脚中期での膝の伸展の増加や

遊脚期での膝の屈曲の減少の程度は男性と女性で異なると報告されている<sup>44)</sup>。このように歩行動作への加齢の影響は女性においてより深刻であるため、本研究の対象を成人女性とした。

第2章では自立歩行可能な成人女性を対象に三次元動作解析システムを用いた歩行動作分析を行い、歩幅や歩行速度などの歩行関連指標そして下肢関節角度および下肢関節角速度の加齢変化を検討した。そして年齢と各歩行指標間との相関係数の大きさから、どの歩行指標が年齢との強い関連性を示すかを探索した。

## 2.2. 方法

### 2.2.1. 被験者

被験者は自立歩行可能な19歳から86歳までの女性128名である(図 2-1)。被験者には事前に「ボールを蹴る脚」等を質問し、利き脚(機能脚)が右脚であった者を選定している。つま先接地などの異常歩行が見られた者や歩行遂行に障害を及ぼす疾病を持った者およびスポーツ競技者などの日頃から高強度の身体運動・トレーニングを行っている者は含まれていない。研究に参加する前に安全性、個人情報の保護について口頭で説明し、実験参加に対する同意を得た。本研究は九州大学大学院芸術工学研究院実験倫理委員会の承認(No. 98および120)を受けている。

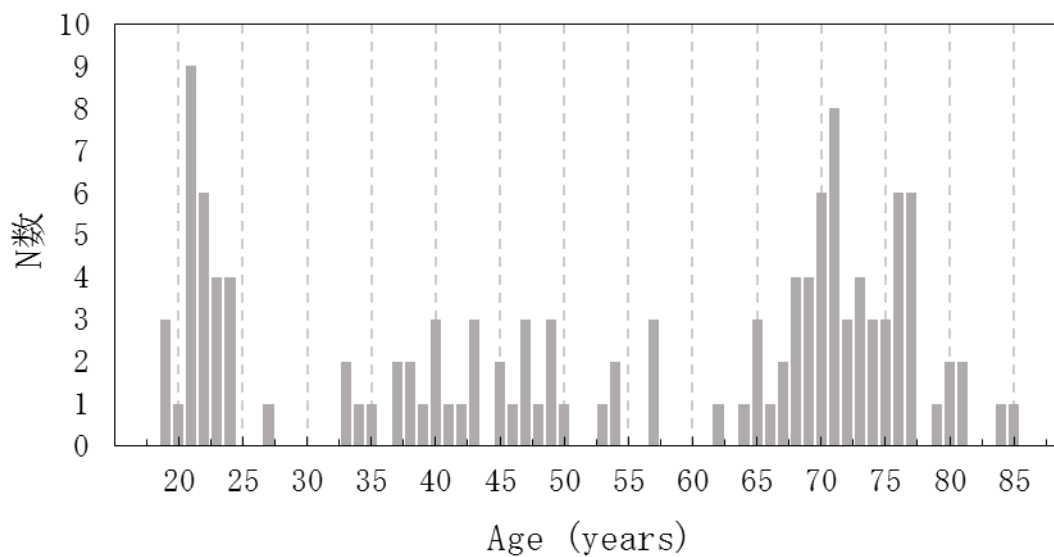


図 2-1 被験者の年齢分布



### 2.2.2. 身体計測

身長, 体重, 下肢長および大腿および下腿周囲径を測定した。身長および体重の測定にはそれぞれ身長計(HBF-362 オムロンヘルスケア製)および体重計(UC-312 株式会社 AND 製)を用いた。下肢長は立位時の転子高(地面から転子点までの鉛直方向の距離)とした。大腿周囲径は転子点から大腿骨の遠位 50%を, 下腿周囲径は下腿部の最大隆起部をそれぞれ測定位置とした。大腿周囲径と下肢長の計測にはそれぞれメジャーおよびマルチン式計測器具セット(PM H13 竹井機器工業製)のアントロポメータを用いた。

### 2.2.3. 歩行動作の測定および解析

#### 2.2.3.1. 三次元動作解析システム

歩行動作の計測は, 赤外線カメラ(Hawk, Eagle および RapterH, MotionAnalysis 社製)とビデオカメラ(HDR-XR550V Sony 社製)で構成される三次元動作解析システムを用いて行った。被験者に装着した赤外線反射マーカの 3 次元座標情報を 100Hz のサンプリングレートにてパーソナルコンピュータ上に取り込んだ。マーカの位置情報には 4 次のバターワースフィルターによる 6Hz のローパスフィルターを用いて平滑化した。被験者には, Helen Hayes Full Body with head Marker の 29 個ならびに左右の大転子のマーカを加えた合計 31 個のマーカを装着した。その内, 歩行分析には, 左右の大転子, 大腿骨外側上顆, 外果, 踵骨ならびに第三中足骨頭の合計 12 個のマーカを使用した。

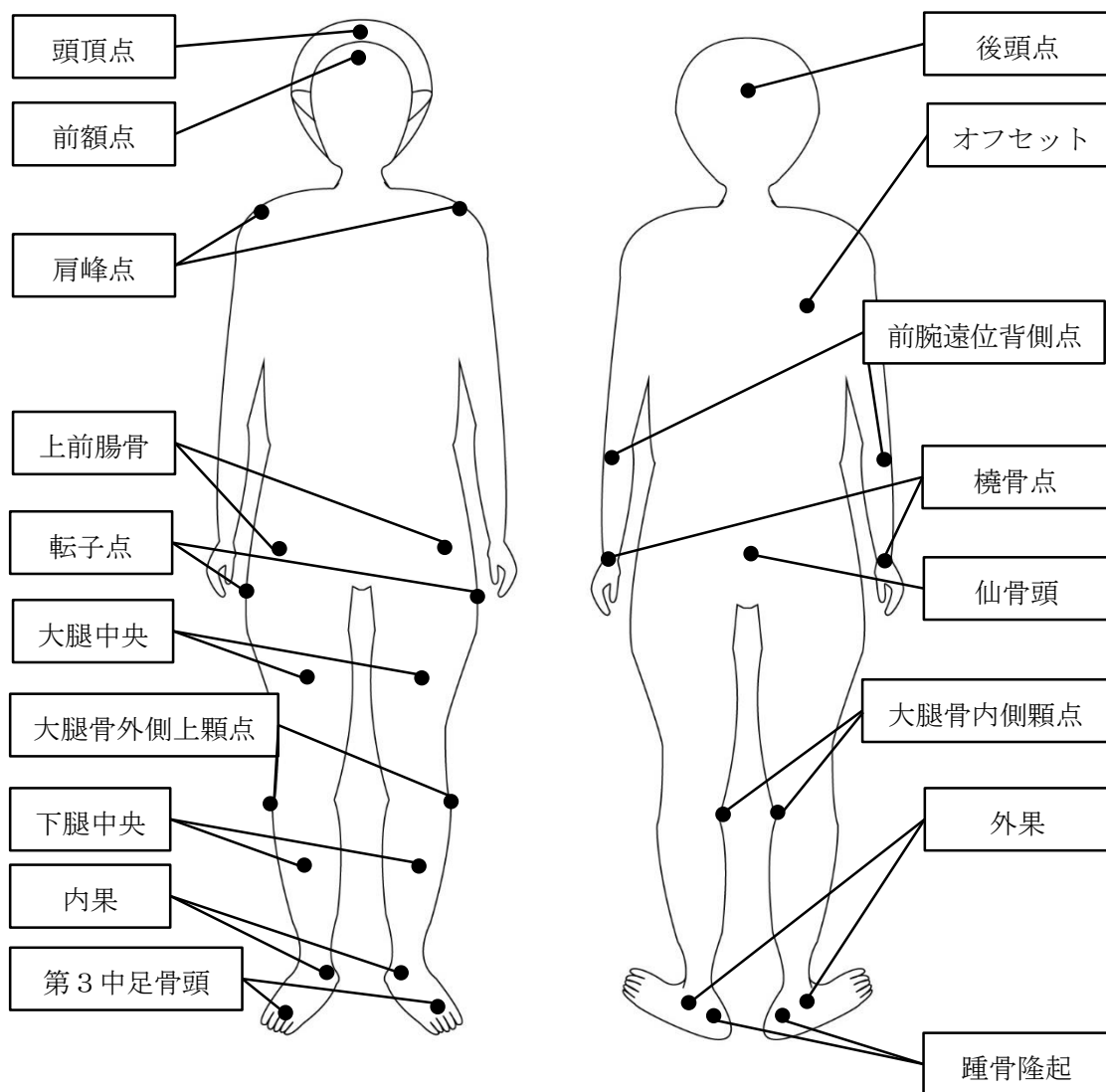


図 2-2 マーカーの装着部位

### 2.2.3.2. 歩行条件

歩行は実験室に設営した約 10m の木板の歩行路上で行った (図 2-3)。骨または関節上の適切な位置にマーカーを貼り付け, 衣服のずれに伴いマーカーの位置が変わることを防ぐために, 実験服は肌に密着したタンクトップとスパッツとした。測定用の赤外線反射マーカーは体表もしくは実験服上に装着した。測定の前に「いつもどおりの速さで歩いてください」と歩行速度に関する教示をした。教示や実験環境に慣れるための複数回の練習試行を設けた。被験者が教示や実験環境に慣れたことを確認した後, 歩行動作の測定を行った。同歩行路上の端から歩き始め, 終端まで歩き終わるまでを 1 試行とし, 被験者 1 人に対し少なくとも 3 試行分の撮影を行った。



図 2-3 歩行路

### 2.2.3.3. 歩行動作の解析

歩行動作の解析には解析用ソフトウェア KineAnalyzer（キッセイコムテック社製）を使用した。歩行路中心付近の2歩分を解析区間とし、右脚の踵接地を0%、同脚の次の踵接地を100%として正規化した1歩行周期分の歩行動作を分析した(図 2-4)。1人の被験者に関して3試行分のデータの平均値を解析値として用いた。歩幅などの左右側の両方が算出できる歩行指標は右側のデータを用いた。本研究で算出した歩行指標を表 2-1 に示す。

表 2-1 歩行指標

分類	算出項目
時間因子・距離因子	歩行速度 (m/min)
	歩調 (steps/s)
	歩幅 (m)
	歩幅/下肢長 (%)
	歩幅/身長 (%)
	両脚支持期時間 (s)
	両脚支持期率 (%)
	遊脚期時間 (s)
	遊脚期率 (%)
	立脚期時間 (s)
立脚期率 (%)	
下肢関節運動指標	下肢関節角度
股関節 (伸展および屈曲)	変化量 (degree)
膝関節 (伸展および屈曲)	下肢関節角速度
足関節 (底屈および背屈)	ピーク値 (degree/s)

#### 2.2.3.4. 時間因子・距離因子

時間因子・距離因子の図解を図 2-4 に示す。歩行速度(m/min)は1歩行周期の平均歩行速度とし、重歩幅を1歩行周期時間で除すことで算出した。歩調(steps/s)は1秒あたりに進んだ歩数とし、1歩行周期分の歩数(2歩)を1歩行周期に要した時間で除することで算出した。足が地面についている期間を立脚期、足が地面から離れている期間を遊脚期、両足が地面についている期間を両足支持期とした。これらの期間に要した時間(s)と1歩行周期中に対する各期間が占める割合(%)を算出した。右足の踵の接地から対側の踵が接地するまでの同側の踵の進行方向の移動距離を歩幅とした。これらの指標の算出に必要な踵部の接地およびつま先部の離地の判断には、第三中足骨骨頭と踵骨部に取り付けたマーカの鉛直方向の位置情報を用いた。踵部の接地においては、右足の踵骨部のマーカの鉛直方向の位置座標が最低値を示す付近のスティックピクチャを目視し、踵を支点に足部が回転し始めるタイミングとした。つま先の離地においては、第三中足骨骨頭のマーカの鉛直方向の位置座標が増加し始める付近のスティックピクチャを目視し、地面から離れたタイミングとした。

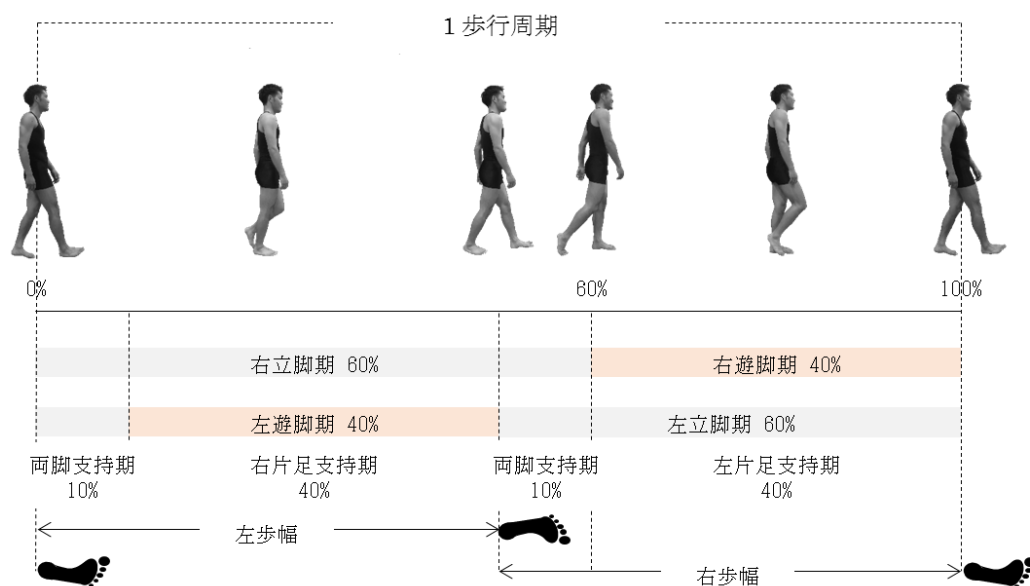


図 2-4 時間因子・距離因子の図解

### 2.2.3.5. 下肢関節運動指標

関節角度および角速度の1歩行周期における経時変化の極大値および極小値(以下これらを総じてピーク値と呼ぶ)を用いた。矢状面上での二つの反射マーカによる線分もしくは座標軸によってなされる角から1歩行周期中の関節角度および角速度を算出した。股関節には大転子と大腿骨外側上顆と垂直軸, 膝関節には大転子と大腿骨外側上顆ならびに大腿骨外側上顆と外果, 足関節には大腿骨外側上顆と外果ならびに外果と第三中足骨のマーカを用いた(図 2-5)。1歩行周期内での関節角度の経時変化の算出後, 全被験者に共通して出現していたピーク値を算出した(図 2-6 および図 2-7)。尚, 角速度の正負は運動の方向を示す。角速度が正の場合, 股・膝関節は伸展運動, 足関節は底屈運動を示し, 角速度が負の場合, 股・膝関節は屈曲運動, 足関節は背屈運動を示す。角速度の絶対値は運動の速さを示しており, 絶対値が大きいほど運動が速く, 0に近づくほど運動が遅いことになる。

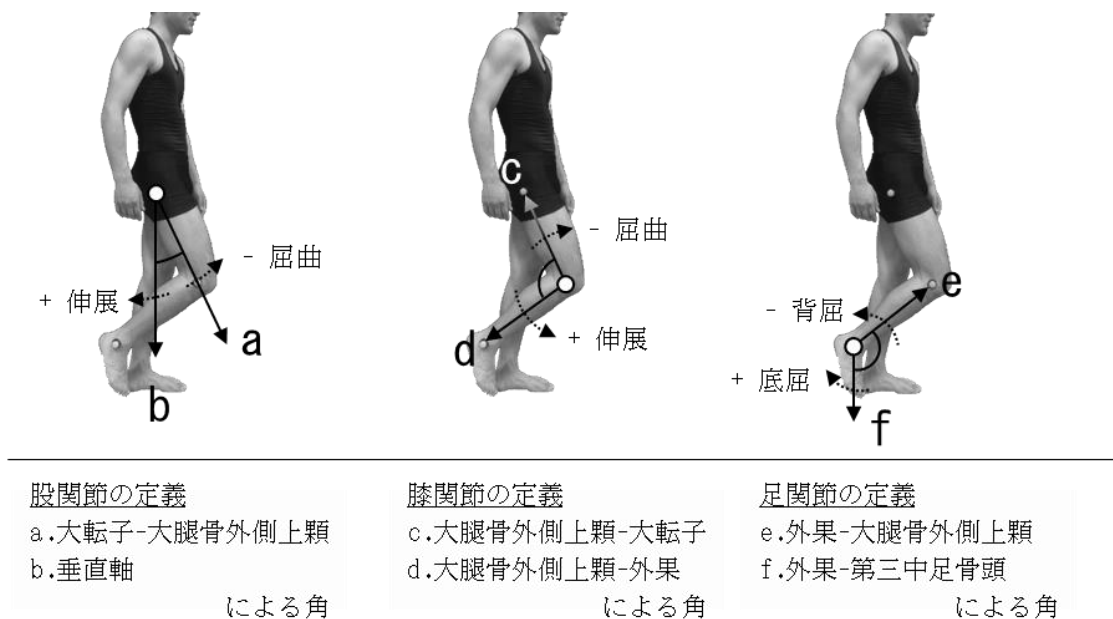


図 2-5 矢状面における関節角の定義

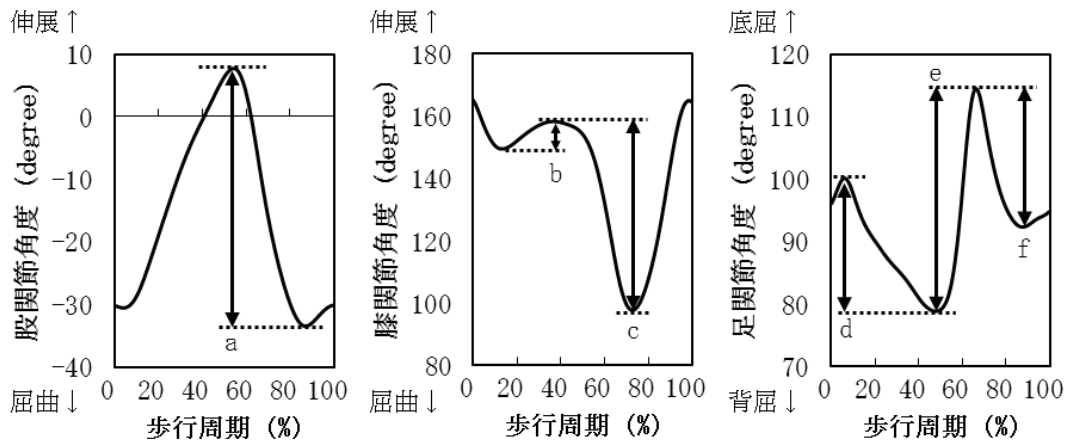


図 2-6 下肢関節角度の経時変化ならびに算出値

- a. 股関節角度 第1屈曲量, b. 膝関節角度 第1伸展量, c. 膝関節角度 第1屈曲量,  
 d. 足関節角度 第1背屈量, e. 足関節角度 第1底屈量, f. 足関節角度 第2背屈量

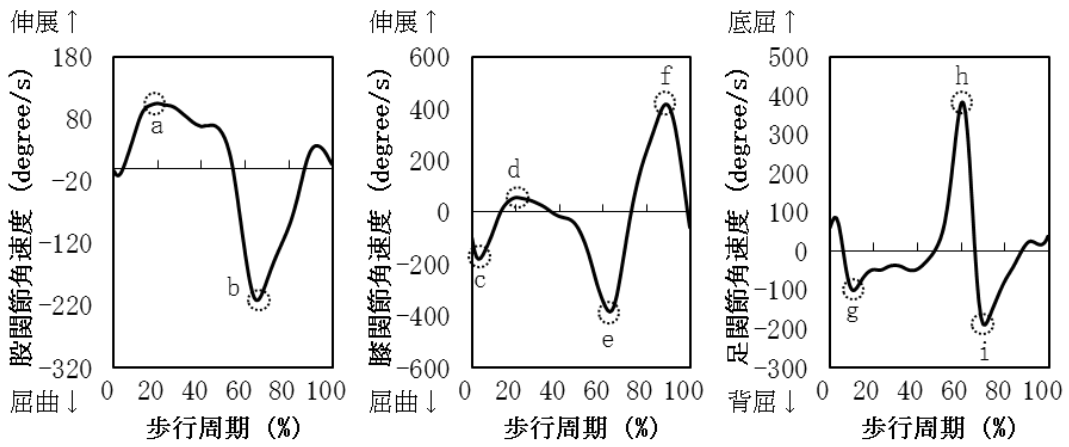


図 2-7 下肢関節角速度の経時変化ならびに算出値

- a. 股関節角速度 第1伸展ピーク, b. 股関節角速度 第1屈曲ピーク, c. 膝関節角速度 第1屈曲ピーク,  
 d. 膝関節角速度 第1伸展ピーク, e. 膝関節角速度 第2屈曲ピーク, f. 膝関節角速度 第2伸展ピーク,  
 g. 足関節角速度 第1背屈ピーク, h. 足関節角速度 第1底屈ピーク, i. 足関節角速度 第2背屈ピーク

#### 2.2.4. 統計処理

年齢と身体特性および歩行指標との相関を検討するために Pearson の積率相関係数を用いた。全ての統計解析は IBM SPSS Statistics 21(日本 IBM 製)を用いて行い,有意水準は 5%未満とした。



## 2.3. 結果

### 2.3.1. 被験者の身体特性

年代別の被験者の身体特性を表 2-2 に、年齢と身体特性との相関係数を表 2-3 にそれぞれ示す。年齢はBMI との間に有意な正の相関、身長および下肢長との間に有意な負の相関をそれぞれ示した。

表 2-2 被験者の身体特性 (平均値±標準偏差)

年齢(歳)	n	身長 (cm)	体重 (kg)	下肢長 (cm)	Body Mass Index
19-29	27	156.8±5.9	49.1±6.4	78.2±4.7	20.0±2.1
30-39	9	158.9±4.7	51.9±6.5	79.9±3.5	20.6±2.8
40-49	20	158.9±5.2	51.4±5.9	81.6±4.0	20.4±2.3
50-59	8	158.0±6.6	50.9±5.6	79.5±2.7	20.5±3.0
60-69	17	154.5±4.3	52.5±6.1	75.8±3.3	21.9±2.2
70-79	41	149.6±5.7	48.7±8.1	74.1±3.7	21.7±3.1
80-86	6	148.4±2.1	49.2±6.2	73.0±3.6	22.3±2.5

表 2-3 年齢と身体特性との相関係数 (n=128)

	<i>r</i>	<i>p</i>
身長 (cm)	-0.492	< 0.001
体重 (kg)	-0.038	0.667
下肢長 (cm)	-0.461	< 0.001
Body Mass Index	0.284	< 0.001

有意な相関

### 2.3.2. 年齢と時間因子・距離因子との関係性

年齢と歩行関連指標(歩行速度, 歩幅, 歩調, 立脚期, 遊脚期, 両脚支持期の時間と 1 歩行周期に対する割合)との間の相関係数を表 2-4 に示す。歩行関連指標では, 年齢と歩幅/身長(図 2-8 c), 歩幅/下肢長および歩行速度(図 2-8 d)との間に有意な相関はなく, 歩調との間に正の相関(図 2-8 a), 歩幅(図 2-8 b)との間に有意な負の相関がそれぞれ認められた。また年齢と立脚期時間, 遊脚期時間, 両脚支持期時間および片脚支持期時間との間に有意な負の相関が認められたが, 1 歩行周期時間に対する各歩行相の割合には有意な相関は認められていない。歩行関連指標の中でも年齢との 0.4 以上の高い相関係数を示した指標は歩調( $r=0.404$ ), 遊脚期時間( $r=-0.424$ )および片足支持期時間( $r=-0.416$ )である。

表 2-4 年齢と体格および歩行関連指標との相関係数 (n=128)

	<i>r</i>	<i>p</i>
歩調 (steps/min)	0.404	< 0.001
立脚期時間 (s)	-0.293	< 0.001
立脚期率 (%)	-0.015	0.861
遊脚期時間 (s)	-0.424	< 0.001
遊脚期率 (%)	0.015	0.862
両脚支持期時間 (s)	-0.203	0.021
両脚支持期率 (%)	-0.013	0.882
歩幅 (cm)	-0.323	< 0.001
片脚支持期時間 (s)	-0.416	< 0.001
片脚支持期率 (%)	0.058	0.508
歩幅/身長 (%)	-0.102	0.251
歩幅/下肢長 (%)	-0.026	0.292
歩行速度 (m/min)	0.062	0.482

有意な相関

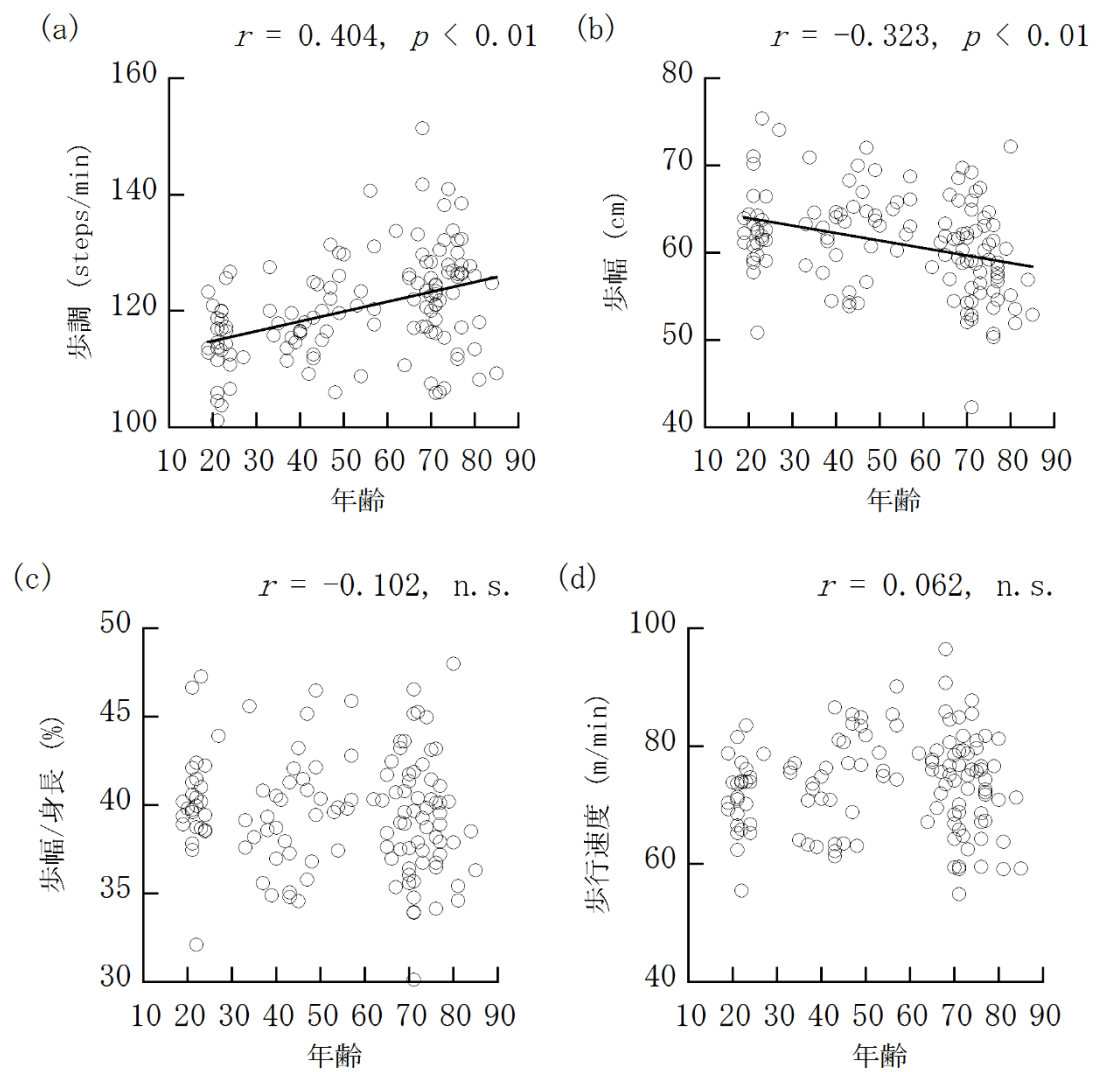


図 2-8 年齢と歩行指標との関係性 (n=128)  
 (a)歩調 (b)歩幅 (c)歩幅/身長 (d)歩行速度

### 2.3.3. 年齢と下肢関節運動指標との関係性

年齢と下肢関節運動指標(角度および角速度)との間の相関係数を表 2-5 に示す。下肢関節角度の変化量では,年齢と股関節の屈曲量(図 2-6 a)と有意な正の相関,足関節の第1底屈量(図 2-6 e)ならびに第2背屈量(図 2-6 f)との間に有意な負の相関が認められた。一方で膝関節角度(図 2-6 bおよびc)との間に有意な相関は認められなかった。また年齢と股関節の屈曲量(図 2-6 a)および足関節の底屈量(図 2-6 e)との相関係数はそれぞれ  $r=0.443$  および  $r=-0.535$  であり,年齢との高い相関を示した歩調などの歩行関連指標の相関係数を上回った(図 2-9)。これらの結果は,年齢が高いほど前遊脚期から始まる股関節の屈曲が大きく,立脚終期から行われる足関節の底屈が小さいことを示している。

下肢関節角速度においては,年齢と立脚中期における股関節の伸展角速度(図 2-7 a)ならびに膝関節の伸展角速度(図 2-7 d),そして遊脚中期での足関節の背屈角速度(図 2-7 i)との間に有意な正の相関が認められた。また遊脚初期における股関節の屈曲角速度(図 2-7 b)ならびに膝関節の屈曲角速度(図 2-7 e),そして前遊脚期の足関節の底屈角速度(図 2-7 h)は年齢との間に有意な負の相関を示した。特に遊脚初期における膝関節の屈曲角速度(図 2-7 c)および前遊脚期の足関節の底屈角速度(図 2-7 d)における年齢との間の相関係数はそれぞれ  $r=-0.483$  および  $r=-0.532$  であり,他の歩行関連指標よりも高い相関係数を示した(図 2-10)。これらの結果は,年齢が高いほど遊脚初期における膝関節の屈曲速度が速く,前遊脚期の足関節の底屈速度が遅いことを示している。

表 2-5 年齢と下肢関節運動指標との相関係数 (n=128)

	<i>r</i>	<i>p</i>
股関節角度 第1屈曲量 (degree)	0.443	< 0.001
膝関節角度 第1伸展量 (degree)	0.136	0.125
膝関節角度 第1屈曲量 (degree)	-0.067	0.450
足関節角度 第1背屈量 (degree)	-0.190	0.031
足関節角度 第1底屈量 (degree)	-0.535	< 0.001
足関節角度 第2背屈量 (degree)	-0.361	< 0.001
股関節角速度 第1伸展ピーク (degree/s)	0.329	< 0.001
股関節角速度 第1屈曲ピーク (degree/s)	-0.333	< 0.001
膝関節角速度 第1屈曲ピーク (degree/s)	-0.170	0.054
膝関節角速度 第1伸展ピーク (degree/s)	0.209	0.017
膝関節角速度 第2屈曲ピーク (degree/s)	-0.483	< 0.001
膝関節角速度 第2伸展ピーク (degree/s)	0.060	0.496
足関節角速度 第1背屈ピーク (degree/s)	0.085	0.335
足関節角速度 第1底屈ピーク (degree/s)	-0.532	< 0.001
足関節角速度 第2背屈ピーク (degree/s)	0.262	0.002

有意な相関

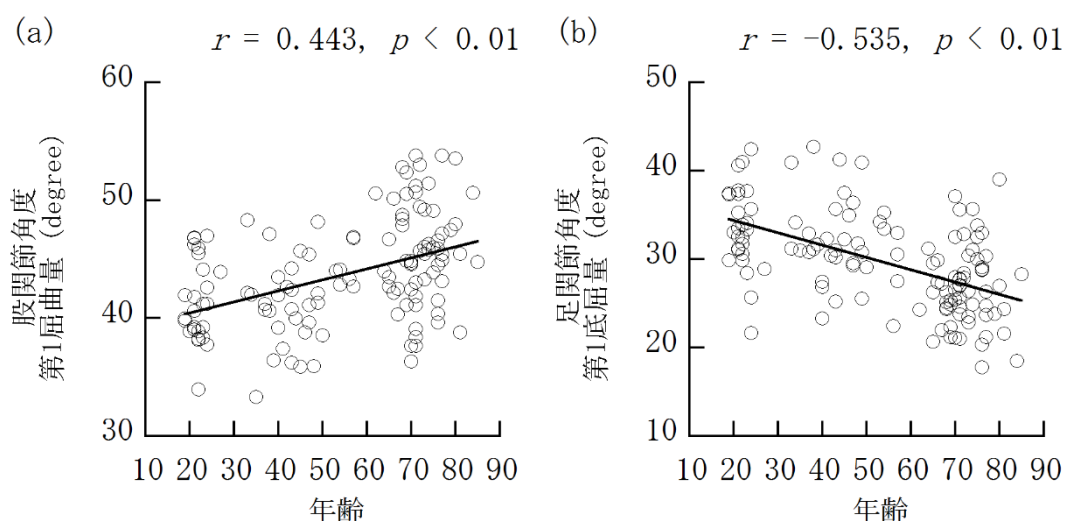


図 2-9 年齢と下肢関節角度との関係性 (n=128)

(a) 股関節角度第1屈曲量 (b) 足関節角度第1底屈量

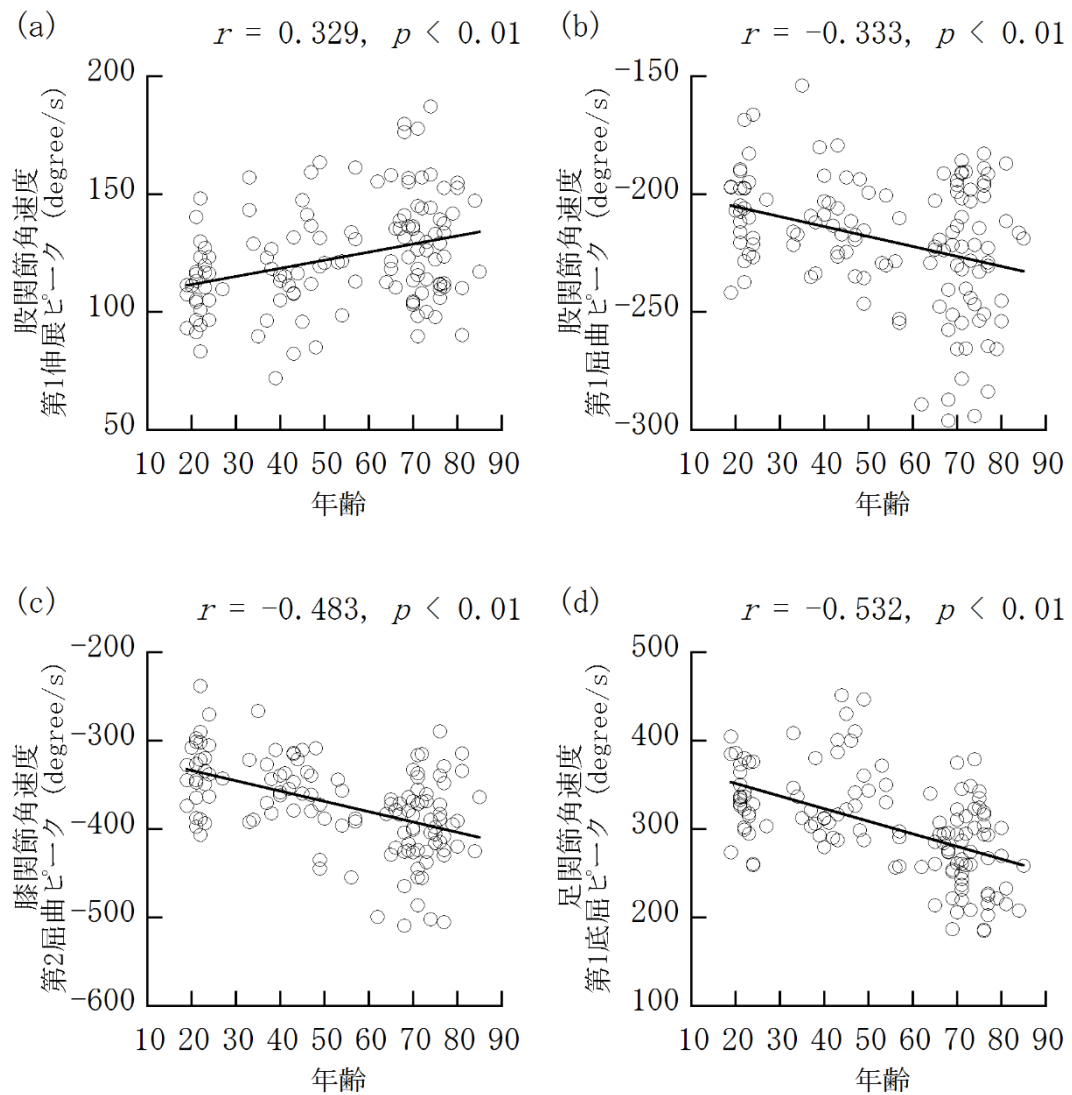


図 2-10 下肢関節角速度と年齢との関係性 (n=128)

- (a) 股関節角速度第 1 伸展ピーク (b) 股関節角速度第 1 屈曲ピーク  
 (c) 膝関節角速度第 2 屈曲ピーク (d) 足関節角速度第 1 底屈ピーク

## 2.4. 考察

歩行速度および身長・下肢長にて補正した歩幅（以下、補正歩幅）には年齢との有意な相関関係は認められなかった。しかしながら、歩行関連指標および下肢関節運動指標の多くの指標が年齢との有意な相関関係を示した。歩行関連指標では歩調の増加、遊脚期時間および片足支持期時間の短縮などがみられた。下肢関節角度指標では、立脚終期から遊脚初期にかけての股関節、膝関節および足関節運動の指標の多くに年齢との有意な相関関係が認められ、いくつかの指標は他の歩行指標よりも高い相関係数を示した。

### 2.4.1. 年齢と歩行関連指標との関係性

歩行動作における加齢変化として歩行速度、歩幅および歩調の減少など、加齢に伴い歩行能力が低下することが広く知られている<sup>13)22)46)48)</sup>。しかしながら、日常的に運動に取り組む者などの身体機能が比較的に良好な高齢者と若年者との歩容を比較した研究では、歩行速度の差が認められないことが多く報告されている<sup>23)24)49)</sup>。本研究においても同様に、年齢と歩調(図 2-8 a)との間に有意な正の相関が認められたものの、歩行速度(図 2-8 d)および補正歩幅(図 2-8 c)との間に有意な相関は認められなかった。本研究の被験者の条件は自立歩行が可能な者であり、そのためにはある程度の歩行能力を有していたと考えられる。そのため、上述の先行研究と同様に歩行速度や補正歩幅の加齢現象がみられなかったと示唆される。

歩行速度は歩幅と歩調の積によって決定する。本研究において歩幅（絶対値）は高齢になるほど減少した。その歩幅は下肢長と下肢動作の両方の影響を受ける<sup>13)50)</sup>。その下肢長は表 2-3 で示したように高齢になるほど短い。他方、身長および下肢長で除した補正歩幅は年齢との関係が認められなかった。これらのことを踏まえると、高齢な人ほど歩幅（絶対値）が短かったことは、下肢長の減少によるところが大きいと示唆される。そして対象となった各年齢層に、おいては下肢長に相当した歩幅を選択していたと言える。またこのことは、加

齢による下肢長の減少が後述する下肢関節運動に与える影響は小さいことも示唆している。一方、加齢による歩幅（絶対値）の低下は歩調の増加によって補われ、歩行速度が年代問わず一定に保たれた。その歩調は歩行周期時間の短縮により増加する。そのため歩行周期を構成する遊脚・立脚期および片脚・両脚支持期の時間にも年齢との有意な相関が認められた。しかし、それらの割合には年齢との相関は認められなかった。これらの割合は年齢によって変化するという報告がみられるが<sup>13)</sup>、高齢になっても歩行速度が維持されていれば、これらの割合には加齢の変化は現れにくいことが示唆された。

#### 2.4.2. 年齢と下肢関節運動との関係性

年齢と下肢関節運動指標との関係に注目すると、関節角度においては股関節角度の第1屈曲量( $r=0.443$ , 図 2-9 a), 足関節角度の第1底屈量( $r=-0.535$ , 図 2-9 b)が高い相関係数を示した。また関節角速度では遊脚初期の膝関節の屈曲角速度( $r=-0.483$ , 図 2-10 c)ならびに前遊脚期の足関節の底屈角速度( $r=-0.532$ , 図 2-10 d)が高い相関係数を示した。これらの相関係数は年齢が高いほど、立脚終期から遊脚初期にかけての股関節および膝関節の運動が増大し、足関節運動が減少することを示している。日常的に運動に取り組んでいる中高齢者と若年者の下肢関節角度を比較すると、股・膝・足関節の中でもつま先離地時の足関節の底屈角度のみが加齢に伴い減少する<sup>49)</sup>。また同一速度での歩行動作時、若年者に対し高齢者においては立脚終期から前遊脚期にかけての股関節の伸展・屈曲および膝関節の屈曲パワーが大きく、対して同時期の足関節の底屈パワーが小さい<sup>51)</sup>。そしてこれらの関節運動の増大の原因の一つとして、足関節の底屈筋による歩行時の推進力の貢献の低下を補うために股関節や膝関節の運動が増大する可能性が報告されている<sup>52)</sup>。同様に下肢関節の柔軟性、足関節の底屈筋力および歩行動作測定を併せて行った研究から、股関節運動の増大や足関節運動の減少などの高齢者特有の下肢関節運動の機序は股関節の柔軟性の低下ではなく、足関節の底屈筋力の減少によって引き起こされると報告されている<sup>23)</sup>。従って歩行老化の



初期段階では足関節運動の老化を補うために股関節や膝関節運動が増大する可能性があり、それらが年齢と立脚終期からの股関節および膝関節運動との有意な正の相関として反映されたと思われる。

#### 2.4.3. 足関節運動の老化と歩行動作への影響

股関節や膝関節運動に対して足関節運動は年齢との高い負の相関係数を示し、年齢が高いほど立脚後期から前遊脚期にかけて行われる足関節の底屈運動は減少していた。歩行中の足関節運動へ影響を与える要因としては下腿部の筋や足関節の可動域などが挙げられる。加齢に伴い足関節の底屈・背屈筋力は減少する<sup>27)</sup>。高齢女性において、足関節の背屈・底屈筋力は歩行速度と有意な正の相関関係があり、特に股関節、膝関節を含めた下肢筋力の中でも足関節の背屈筋力は移動動作能力との相関係数が最も高いと報告されている<sup>17)28)</sup>。これらの加齢に伴う足関節機能の低下が、歩行動作中の足関節運動に影響を与えている可能性がある。さらに足関節は他の下肢の関節と比べても可動域の低下が特に著しく、この足関節の可動域の減少が前遊脚期での足関節の底屈の減少および遊脚期での背屈の減少の原因である可能性が示されている<sup>13)53)</sup>。このように足関節の背屈・底屈の筋力や可動域の加齢性の減少が股関節や膝関節のそれと比べて著しいことも、本研究において足関節運動のみが歩行能力の低下を招くような加齢変化を見せた一因かもしれない。

#### 2.4.4. 性差の影響

本研究では歩行動作の加齢変化に性差があることを考慮し、加齢の影響がより大きい女性を対象とした。本研究の女性においては、年齢が高いほど歩幅が小さくなるが、それを歩調の増加により歩行速度を維持する傾向がみられた。そして、多くの下肢関節運動指標において年齢との相関が認められた。一方、男性では加齢による歩幅の低下の程度は女性のそれよりも小さいことが報告されている<sup>43)44)</sup>。また、高齢男性と高齢女性の歩行時の膝・足関節

の動態が異なることが多く報告されている<sup>22)54)55)</sup>。これらのことから男性と女性とで異なる機序にて歩行が老化していく可能性があり,本研究で得られた歩行指標や下肢関節運動指標と年齢との相関関係が男性にも同様に見られるとは限らないと予測される。

#### 2.4.5. 本章における限界点

第2章で見られた歩行動作の加齢変化は,加齢による筋肉の減弱や関節可動域の低下などの身体機能の低下に起因している。特に年齢との相関が高かった立脚終期から遊脚初期にかけての下肢関節運動に関わる要因の一つとして下肢の筋群が挙げられる。下肢の筋群は股関節,膝関節および足関節運動の主働筋もしくは拮抗筋として働くことで,歩行動作における動的安定性や推進力の確保に寄与する要因の一つである<sup>56)57)</sup>。各関節運動に関わる大腿部および下腿部の筋評価を併せて行うことで加齢による歩行動作の変化をより高次的に理解できると考えられる。これらを踏まえ,第3章では下肢筋機能の評価の一つである筋量評価に着目し,若年者から高齢者を対象に下肢筋量と歩行動作および年齢との関係性を検討する。

## 第3章 女性における歩行動作の老化への下肢筋量の影響

### 3.1. はじめに

下肢関節運動は主に下肢筋(大腿部および下腿部)の活動によって成り立っている。大腿部の前面に位置する大腿四頭筋は膝関節の伸展, 股関節の屈曲の主働筋であり, 歩行時の姿勢の保持や高速歩行時の推進力発揮などに大きく影響を与える筋群である<sup>58)</sup>。大腿部の後面のハムストリングスは膝関節の屈曲, 股関節の伸展の主働筋であり, 歩行時には遊脚後期での下肢のスイングの減速などの役割を担っている。下腿部においては, 足関節の背屈, 内反および外反の主働筋である前脛骨筋や腓骨筋が前面に, 足関節の底屈や膝関節の屈曲の主働筋である腓腹筋やヒラメ筋が後面に位置している。これらの下腿部の筋群により歩行時のロッカー機能(足部や足指などの関節中心を起点とした回転運動)が成立し, 身体を前進させるための推進力の維持や姿勢の制御の役割に貢献している<sup>59)</sup>。このように大腿部や下腿部の筋群は下肢関節運動の原動力であり歩行に大きく影響を与えている。

これらの筋群を評価する方法として利便性や簡便性に優れた超音波画像診断装置を用いた筋量測定 of 普及が進んでいる<sup>60)</sup>。この手法では, 超音波画像を組み合わせることで筋の横断面画像を再現でき, 磁気共鳴画像法(MRI)やコンピュータ断層撮影(CT)に近い精度で筋の横断面積の評価が可能である<sup>61)62)</sup>。筋線維の数や横断面積を反映する筋量は筋力と比例関係にあり, 大腿部の筋量は膝関節の伸展・屈曲筋力や股関節の伸展・屈曲筋力と正の相関関係がある<sup>63)</sup>。さらに加齢によって大腿部および下腿部の筋量は減少し, またその減少の程度は筋群によって異なる<sup>30)31)63)</sup>。特に大腿部前面に位置する膝関節伸筋群は, 大腿部および下腿部の中でも加齢による筋量の低下が大きく, 自由歩行速度の低下や歩幅の減少などの歩行能力の低下の要因の一つだといわれている<sup>36)</sup>。

このように大腿部および下腿部の筋量は歩行動作に影響を与える要因の一つであると考えられており, 先行研究においては歩幅や歩行速度などの歩行関連指標との関連性が追及

されている<sup>36)</sup>。しかしながら, 下肢筋量が歩行へ及ぼす影響に関して, 歩行中の下肢関節運動に注目した研究はほとんどない。下肢関節運動が大腿部や下腿部の筋の活動によって成立していることを踏まえると, 加齢による下肢筋量および歩行動作の変化には何らかの関係があると思われる。そこで本章では若年者から高齢者までの大腿部および下腿部の筋量の加齢変化の検討とそれらが歩行動作に及ぼす影響を検討する。

## 3.2. 方法

### 3.2.1. 被験者

被験者は自立歩行可能な 19 歳から 85 歳までの女性 124 名(全年齢群)である。なお使用した超音波筋横断面計測システムの開発上の都合により,筋群によって被験者数はそれぞれ異なる。大腿部の総筋量,膝関節伸筋群,膝関節屈筋群および下腿部の総筋量を測定した被験者は 124 名である。これに対し,足関節の足関節背屈筋群および足関節底屈筋群を測定した被験者は 111 名である。被験者には事前に「ボールを蹴る脚」等を質問し,利き脚(機能脚)が右脚であった者を選定している。

また第 4 章にて比較的に健康的な高齢女性をのみを対象に運動・生活介入を行うことを考慮し,65-75 歳までの高齢者 41 名(高齢群)の分析も行った。運動・生活介入を行うことを前提とすると,老化が深刻化する前にあり,ある程度良好な運動機能を有していることが望ましい。また歩行の老化はおおよそ 75 歳を境とし,さらに老化が加速する<sup>20)</sup>。これらを踏まえて対象は 75 歳までの高齢者に限定した。

つま先接地などの異常歩行が見られた者や歩行遂行に障害を及ぼす疾病を持った者およびスポーツ競技者などの日頃から高強度の身体運動・トレーニングを行っている者は含まれていない。研究に参加する前に安全性,個人情報の保護について口頭で説明し,実験参加に対する同意を得た。本研究は九州大学大学院芸術工学研究院実験倫理委員会の承認(No. 98 および 120)を受けている。

### 3.2.2. 身体計測

第2章 身体計測(2.2.2)の方法に準じて行った。

### 3.2.3. 歩行動作の測定および解析

第2章 歩行動作の測定および解析(2.2.3)に準じて行った。さらに下肢関節運動指標(2.2.3.4)に関しては、全被験者に共通して出現していた1歩行周期内での関節角度・角速度のピーク値(図2-6および図2-7)に加え、関節角速度のピーク値を算出した(図3-1)。そして関節角度、角速度および角加速度のピーク値が出現した時期(ピーク時期[%]:ピークが出現した時間/1歩行周期時間)を算出した。ピーク時期の増加はピークの出現時期の後退、対して減少はピークの出現時期の前進をそれぞれ示している。これらに加えて、遊脚期中におけるフットクリアランス(床からつま先までの鉛直方向の距離)のピーク値も併せて分析した(図3-2)。

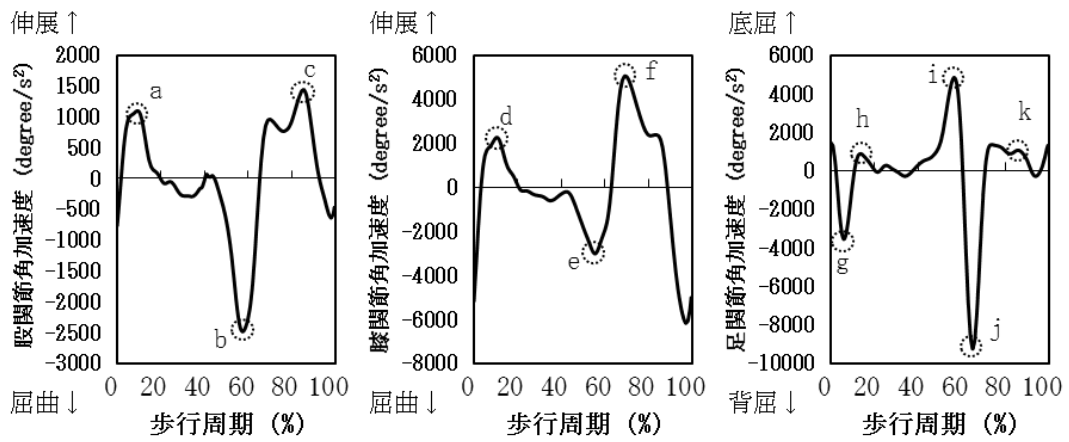


図 3-1 下肢関節角加速度の経時変化ならびに算出値

- a. 股関節角加速度 第1伸張, b. 股関節角加速度 第1屈曲, c. 股関節角加速度 第2伸張,
- d. 膝関節角加速度 第1伸張, e. 膝関節角加速度 第1屈曲, f. 膝関節角加速度 第2伸張,
- g. 足関節角加速度 第1背屈, h. 足関節角加速度 第1底屈, i. 足関節角加速度 第2底屈,
- j. 足関節角加速度 第2背屈, k. 足関節角加速度 第3底屈

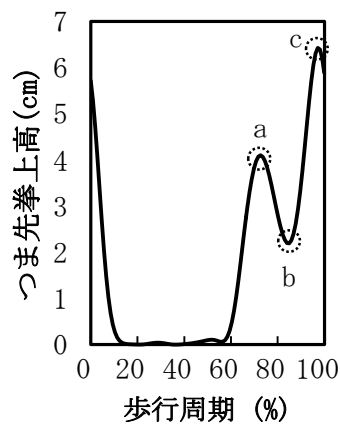


図 3-2 1歩行周期におけるつま先挙上高の経時変化と算出値

- a. フットクリアランスピーク 1, b. フットクリアランスボトム 1,
- c. フットクリアランスピーク 2

### 3.2.4. 下肢筋横断面積の測定および解析

#### 3.2.4.1. 超音波筋横断面計測システム

筋横断面積の計測には、Fukumoto らが開発した超音波筋横断面計測システム<sup>62)</sup>を用いた。このシステムは、多関節リンク機構、超音波装置 (LOGIQ e : GE ヘルスケア社製)、測定用プローブ (12L-RS : 周波数域 6.0-13.0MHz)、画像合成ソフトウェアにより構成されている。多関節リンク機構の役割は、関節部に装着しているセンサーによってプローブの位置座標を取得すること、そしてプローブの動きを二次元平面上に固定することで二次元横断面の計測を補助することである。この機構に装着したプローブを体表面に沿って移動することで超音波画像を連続して撮影することが出来る。得られた画像を合成することで筋肉の横断画像を取得する (図 3-3 a)。

#### 3.2.4.2. 筋横断面積の計測ならびに算出方法

撮影部位は右下肢の大腿部および下腿部とした。超音波測定条件は、計測深度 80mm, 有効計測幅 40mm とし、撮影は B モード (エコーの輝度と位置を示したグレースケールの二次元画像の撮影) にて行った。また筋境界が判断しやすいように被験者ごとに中心周波数を 5-10Hz 内で調整して撮影した。被験者は、大腿部の周囲上をプローブで撮影できるように、大腿部が露出できるハーフパンツに着替えた後、簡易診察ベッド上で仰臥位にて右下腿部のみを台座にのせた。撮影時の被験者の脚の姿勢は内外旋中間位とし、リラックスした状態で脚に力を入れないように教示した (図 3-3 b)。教示した姿勢となったことを確認した後、大腿部、下腿部の順に計測を行った。大腿部は大転子点から大腿骨の遠位 50%の位置、下腿部は周囲径が最大となる位置をそれぞれ撮影箇所とした<sup>64)65)</sup>。これらの位置は大腿および下腿周囲径の計測位置と同様である。



### 3.2.4.3. 下肢筋量の算出ならびに筋群の判別

筋面積の算出には計測ソフト QuickGrainOadPlus4.2.2(株式会社イノテック社製)を用いた。大腿部および下腿部の筋横断画像にて骨,皮下脂肪および筋肉の境界を手動でなぞり,筋群の判別と算出を同時に行った。大腿部および下腿部の総筋肉量を示す大腿総筋,下腿総筋の筋面積の算出を行った。さらに筋の役割ごとに大腿部,下腿部を分類し筋面積の算出を行った。大腿部に関しては膝関節を伸展,屈曲する筋ごとに分類を行った。大腿前面に位置する大腿直筋,中間広筋,内側広筋,外側広筋の4つの筋を膝関節伸展筋群(以下,膝伸筋群)と,大腿後面に位置する大腿二頭筋,半腱様筋,半膜様筋,縫工筋,薄筋,大内転筋および長内転筋を膝関節屈曲筋群(以下,膝屈筋群)とした(図 3-3-c 左)。また下腿部に関しては,足関節を底屈,背屈させる筋ごとに分類を行った。下腿前面に位置する前脛骨筋,長趾伸筋,腸腓骨筋の3つを足関節背屈筋群(以下,足背屈筋群)とし,下腿後面にある後脛骨筋,長母指伸筋,ヒラメ筋および腓腹筋を足関節底屈筋群(以下,足底屈筋群)とした(図 3-3 c 右)。

#### 3.2.4.4. 下肢筋横断面積の補正

超音波画像の計測では探触子を撮影部位に連続的に接触させるため、その時に生じる圧迫によって筋面積が減少する。そこで Fukumoto らの方法を踏襲し、実寸した大腿および下腿部の周囲径と本システムで計測した同部位の周囲径の差分より筋面積の減少を補正した<sup>62)64)66)</sup>。これらの筋横断面積は身長や体重と比例関係にあることが報告されており<sup>67)</sup>、歩行との関連を検討する前に体型の影響を除外必要がある。そこで筋横断面積を比体重[体重(kg)÷身長(m)]によって除した筋量指数( $\text{cm}^2 \cdot \text{m}/\text{kg}$ )を分析に用いた。身長は筋長との正比例の関係にあり<sup>68)</sup>、また筋体積は筋横断面積と筋長の積で算出される。つまり、この筋量指数は筋体積を体重で除した、体型の影響が除外された筋体積の評価値である。当システムを用いて行われたフィールド調査から比体重による補正の有用性と妥当性が報告されている<sup>64)</sup>。

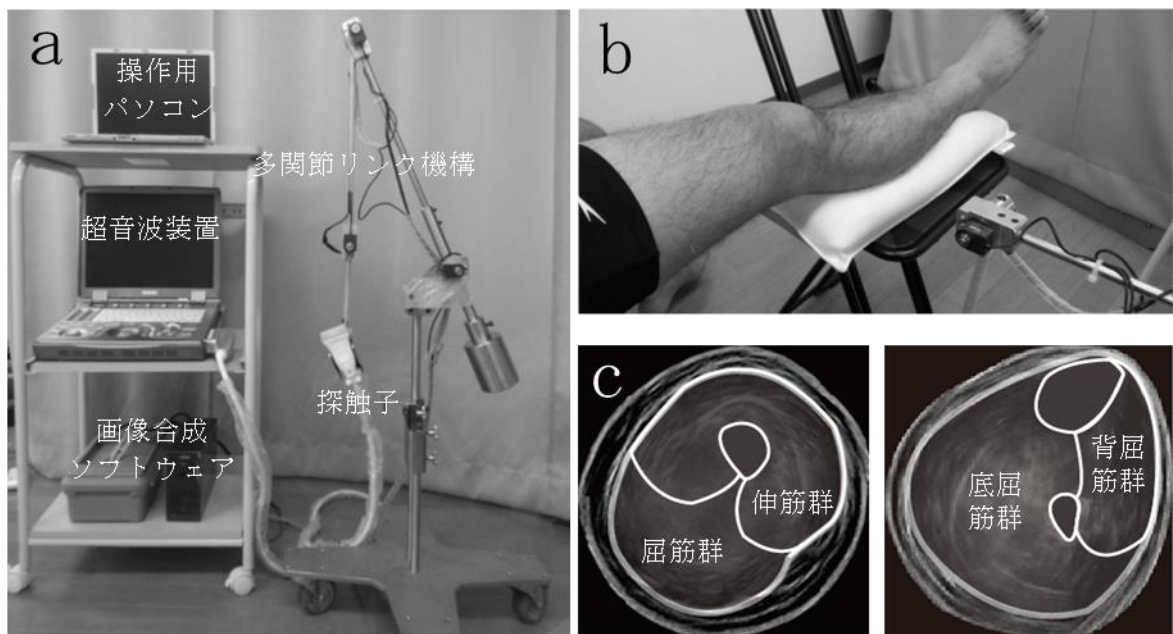


図 3-3 超音波筋横断面積計測システムの概要

(a) システムの外観 (b) 測定姿勢 (c) 大腿部(左)および下腿部(右)の筋横断面図

### 3.2.5. 統計処理

各項目間の相関を検討するために Pearson の積率相関係数を用いた。また相関係数の算出は 19 歳から 85 歳までの 124 名(全年齢群)および 65 歳から 75 歳までの 41 名(高齢群)の 2 群を対象とした。また高齢群においては, 全参加者が大腿部および下腿部の筋のどちらも測定している。全ての統計解析は IBM SPSS Statistics 21(日本 IBM 製)を用いて行い, 有意水準 5%未満を有意とした。

### 3.3. 結果

#### 3.3.1. 被験者の身体特性

被験者の身体特性を表 3-1 に示す。

表 3-1 被験者の身体特性 (平均値±標準偏差)

年齢(歳)	n	身長 (cm)	体重 (kg)	比体重 (kg/m)	下肢長 (cm)	Body Mass Index
全年齢群						
19-29	28	157.1±6.0	49.7±6.9	31.5±3.8	73.5±3.5	20.5±2.7
30-39	9	158.9±4.7	51.9±6.5	32.6±4.1	79.9±3.5	20.6±2.8
40-49	18	159.4±5.2	51.1±6.0	32.0±3.5	75.7±4.2	20.1±2.2
50-59	7	158.2±7.0	50.3±5.8	31.8±4.0	73.7±2.9	20.2±3.1
60-69	16	154.5±4.4	52.2±6.1	33.7±3.6	70.0±3.2	21.8±2.2
70-79	40	149.5±5.7	48.3±7.8	32.2±4.7	68.2±3.7	21.5±3.0
80-86	6	148.3±2.4	49.1±6.1	33.1±3.9	67.3±3.2	22.3±2.5
高齢群						
65-75	41	152.4±5.6	51.2±7.5	33.5±4.5	69.6±3.4	22.0±2.8

### 3.3.2. 全年齢群における下肢筋量と歩行動作との関係性

#### 3.3.2.1. 下肢筋量と年齢との関係性

全年齢群における大腿部および下腿部の筋量指数と年齢との相関係数をそれぞれ表 3-2 と表 3-3 に示す。大腿部の筋量指数(大腿総筋, 膝伸筋群, 膝屈筋群)は年齢との有意な負の相関係数を示した。同様に下腿部の筋量指数においても下腿総筋および足底屈筋群も年齢との間に有意な負の相関が見られた。しかしながら足背屈筋群は年齢との間に有意な相関が認められなかった。

表 3-2 全年齢群における年齢と大腿部の筋量指数との相関係数 (n=124)

	筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
	大腿総筋		膝伸筋群		膝屈筋群	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
年齢 (歳)	-0.534	< 0.001	-0.475	< 0.001	-0.281	0.002
有意な相関						

表 3-3 全年齢群における年齢と下腿部の筋量指数との相関係数 (n=111)

	筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
	下腿総筋		足背屈筋群		足底屈筋群	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
年齢 (歳)	-0.292	0.001	-0.007	0.462	-0.434	< 0.001
有意な相関						

### 3.3.2.2. 大腿部の筋量と歩行関連指標との関係性

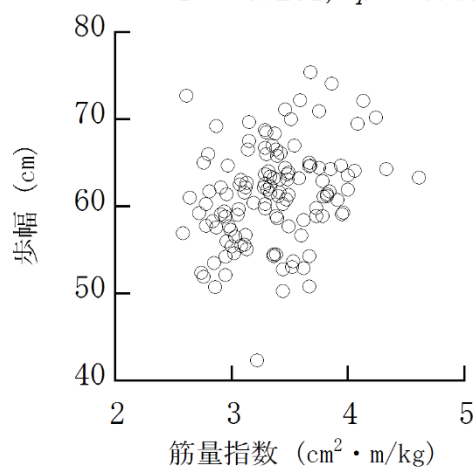
全年齢群における大腿総筋および膝伸筋群は、歩幅(図 3-4)および遊脚期時間(図 3-5)との間に有意な正の相関、歩調との間に有意な負の相関がそれぞれ認められた(図 3-6)。一方で膝屈筋群は、歩幅および歩幅/身長とのみ有意な正の相関が認められた。しかしながら、歩行速度、両脚支持期時間、立脚期時間および1歩行周期に対する各歩行相(立脚期、遊脚期および両脚支持期)の割合と大腿部の筋量指数との間に有意な相関関係は認められなかった。

表 3-4 全年齢群における大腿部の筋量指数と歩行関連指標との相関係数 (n=124)

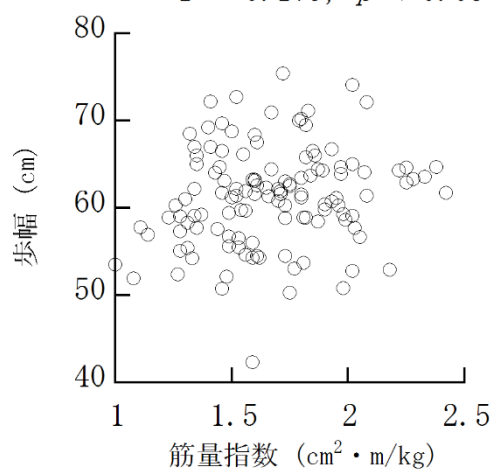
	筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
	大腿総筋		膝伸筋群		膝屈筋群	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
歩行周期時間 (s)	0.193	0.031	0.202	0.024	0.068	0.452
歩調 (steps/min)	-0.197	0.027	-0.203	0.023	-0.073	0.418
立脚期時間 (s)	0.112	0.214	0.148	0.100	0.005	0.955
立脚期率 (%)	-0.153	0.087	-0.090	0.316	-0.132	0.140
遊脚期時間 (s)	0.299	< 0.001	0.294	< 0.001	0.127	0.158
遊脚期率 (%)	0.153	0.087	0.090	0.316	0.133	0.140
両脚支持期時間 (s)	-0.003	0.967	0.059	0.512	-0.072	0.426
両脚支持期率 (%)	-0.093	0.300	-0.024	0.783	-0.114	0.204
歩幅 (cm)	0.281	0.001	0.179	0.046	0.228	0.010
片脚支持期時間 (s)	0.230	0.010	0.221	0.013	0.102	0.257
片脚支持期率 (%)	0.101	0.261	0.027	0.762	0.123	0.170
歩幅/身長 (%)	0.152	0.090	0.010	0.909	0.220	0.013
歩幅/下肢長 (%)	-0.004	0.959	-0.087	0.335	0.090	0.318
歩行速度 (m/min)	0.078	0.387	-0.010	0.909	0.130	0.148

有意な相関

(大腿総筋)  $r = 0.281, p < 0.01$



(膝伸筋)  $r = 0.179, p < 0.05$



(膝屈筋)  $r = 0.228, p < 0.01$

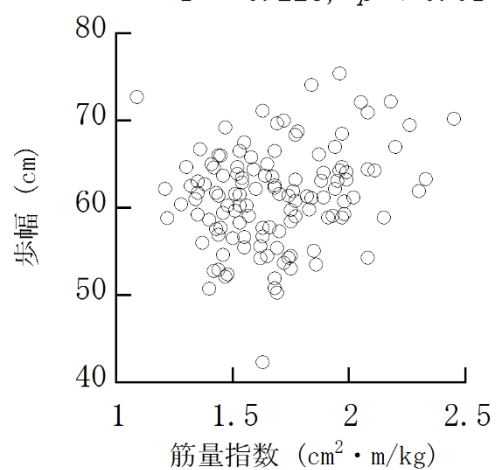


図 3-4 大腿部の筋量指数と歩幅との関係性 (n=124)

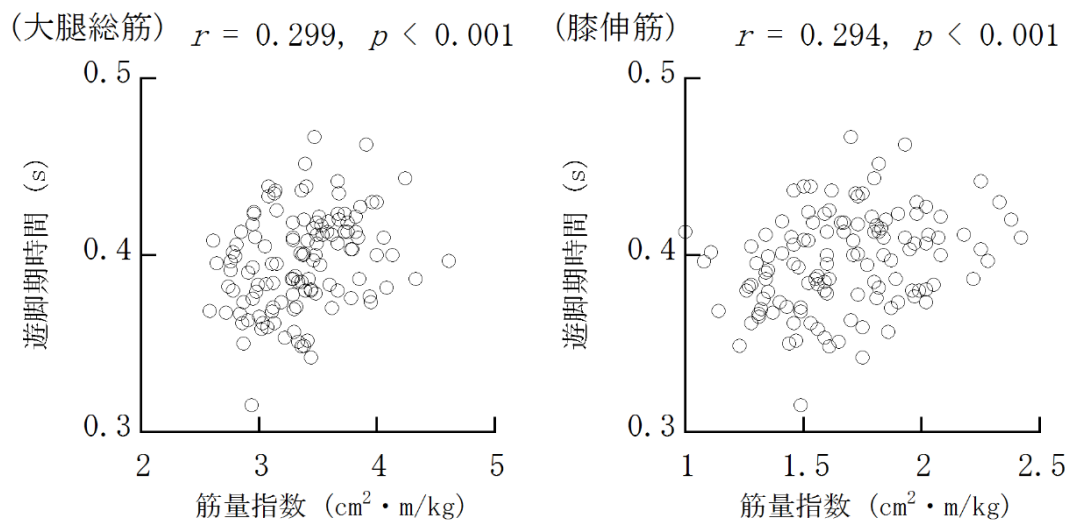


図 3-5 大腿総筋および膝伸筋群と遊脚期時間との関係性 (n=124)

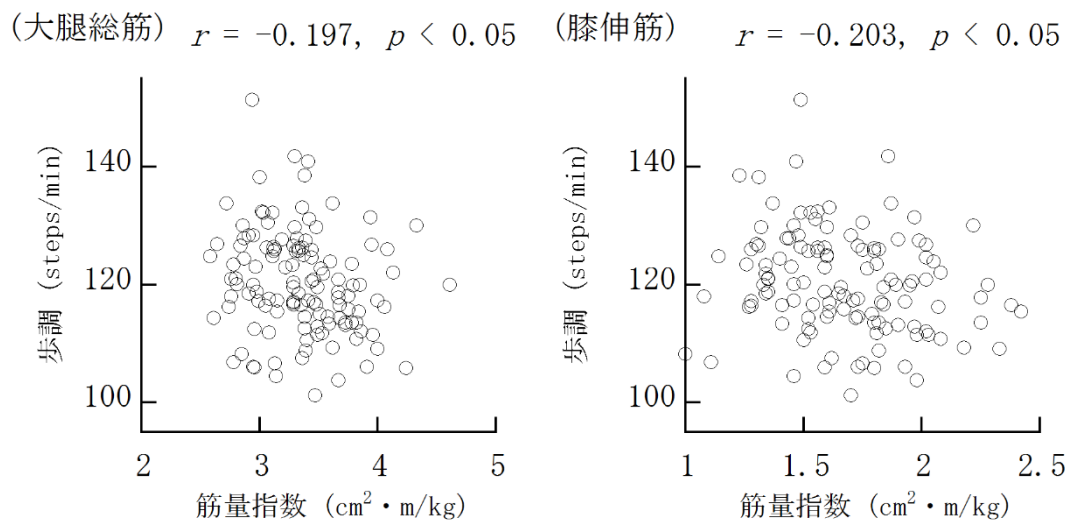


図 3-6 大腿総筋および膝伸筋群と歩調との関係性 (n=124)



### 3.3.2.3. 下腿部の筋量と歩行関連指標との関係性

全年齢群における下腿総筋および足底屈筋群は、歩幅(図 3-7)および遊脚期率(図 3-9)との間に有意な正の相関、立脚期率(図 3-8)および両脚支持期率との間に有意な負の相関がそれぞれ認められた。また下腿総筋においてのみ、遊脚期時間との間の有意な正の相関、両脚支持期時間との有意な負の相関がそれぞれ認められた。一方で足背屈筋群は、1 歩行周期に対する各歩行相の割合(立脚期(図 3-8)、遊脚期(図 3-9)および両脚支持期)との間にそれぞれ有意な相関が認められた。しかしながら、歩行速度、歩調、歩幅/下肢長および立脚期時間と下腿部の筋量指数との間に有意な相関関係は認められなかった。

表 3-5 全年齢群における下腿部の筋量指数と歩行関連指標との相関係数 (n=111)

	筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
	下腿総筋		足背屈筋群		足底屈筋群	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
歩行周期時間 (s)	0.037	0.678	0.032	0.738	0.056	0.553
歩調 (steps/min)	-0.043	0.628	-0.040	0.671	-0.058	0.542
立脚期時間 (s)	-0.049	0.586	-0.044	0.643	-0.034	0.717
立脚期率 (%)	-0.291	0.001	-0.244	0.009	-0.217	0.021
遊脚期時間 (s)	0.198	0.026	0.177	0.062	0.166	0.080
遊脚期率 (%)	0.291	0.001	0.244	0.009	0.217	0.021
両脚支持期時間 (s)	-0.186	0.038	-0.141	0.138	-0.134	0.157
両脚支持期率 (%)	-0.251	0.004	-0.198	0.037	-0.193	0.042
歩幅 (cm)	0.228	0.010	0.141	0.138	0.243	0.009
片脚支持期時間 (s)	0.101	0.264	0.079	0.407	0.106	0.264
片脚支持期率 (%)	0.259	0.003	0.192	0.043	0.215	0.023
歩幅/身長 (%)	0.110	0.222	0.031	0.746	0.140	0.142
歩幅/下肢長 (%)	0.051	0.573	0.061	0.519	0.053	0.578
歩行速度 (m/min)	0.161	0.072	0.097	0.309	0.156	0.100

有意な相関

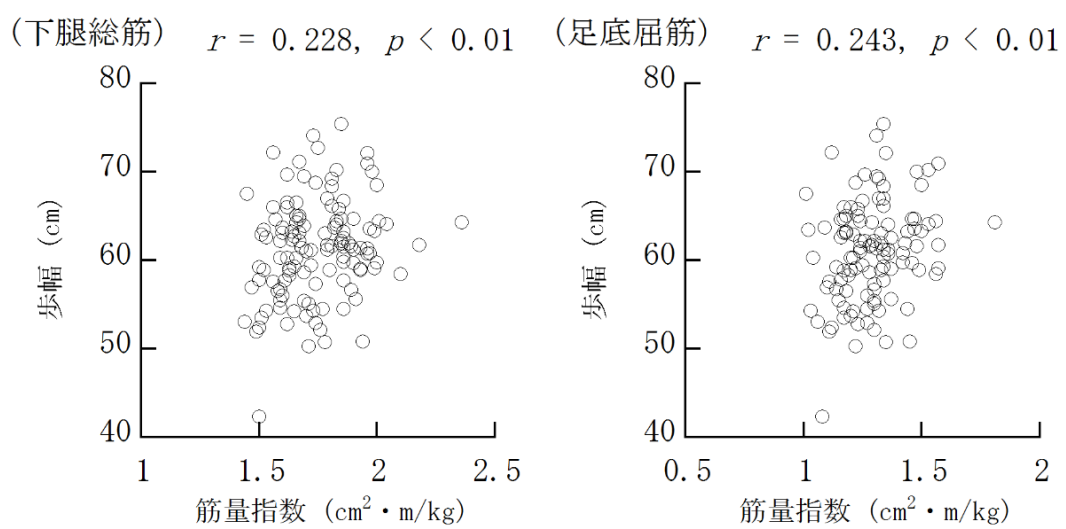
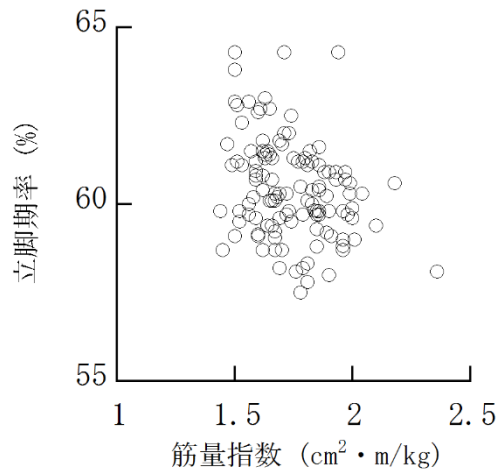


図 3-7 下腿総筋および足底屈筋群の筋量指数と歩幅との関係性 (n=111)

(下腿総筋)  $r = -0.291, p < 0.001$



(足背屈筋)  $r = -0.244, p < 0.01$  (足底屈筋)  $r = -0.217, p < 0.05$

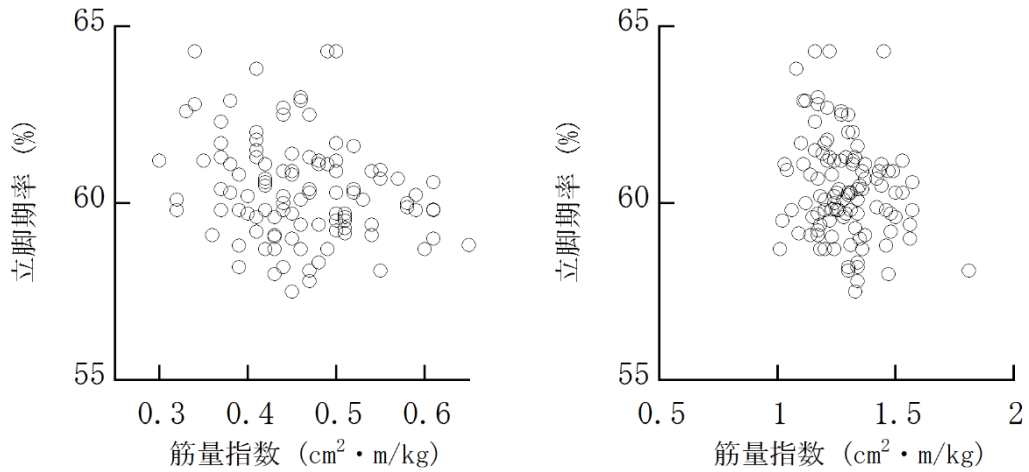
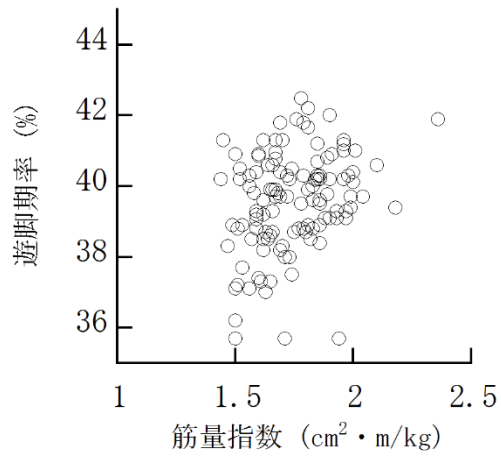


図 3-8 下腿部の筋量指数と立脚期率との関係性 (n=111)

(下腿総筋)  $r = 0.291, p < 0.001$



(足背屈筋)  $r = 0.244, p < 0.01$  (足底屈筋)  $r = 0.217, p < 0.05$

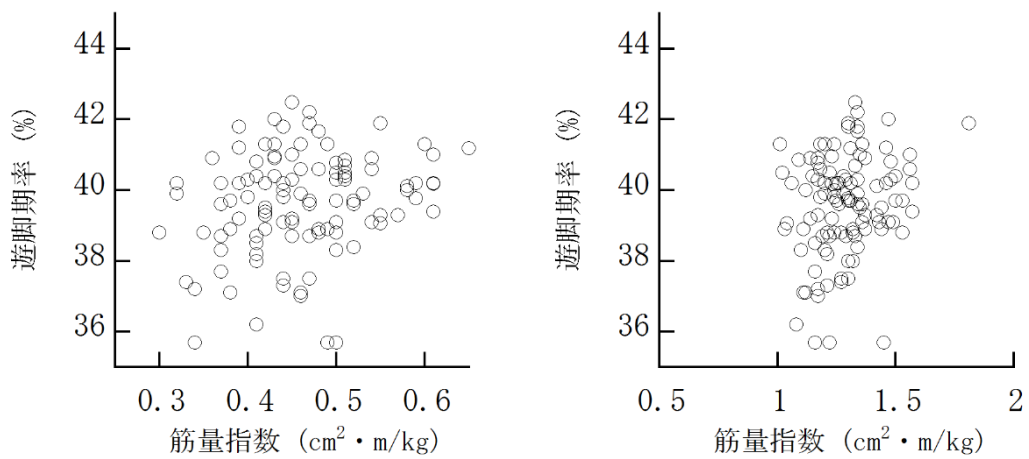


図 3-9 下腿総筋および足背屈筋群の筋量指数と遊脚期率との関係性 (n=111)

#### 3.3.2.4. 大腿部の筋量と下肢関節運動との関係性

全年齢群における大腿部の筋量指数と下肢関節運動との関係性を表 3-6 に示す。

関節角度において、大腿総筋および膝伸筋群は足関節の第 1 底屈量および第 2 背屈量に有意な正の相関、股関節の第 1 屈曲量とは有意な負の相関がそれぞれ認められた。また大腿総筋は膝関節の第 2 屈曲量との間にも有意な正の相関が認められた。一方で膝屈筋群は足関節の第 1 背屈量とのみ有意な正の相関を示した。

関節角速度では、全ての大腿部の筋量指数と足関節の第 2 底屈ピークとの間に有意な正の相関が認められた(図 3-10)。さらに大腿総筋と膝伸筋群は、膝関節の第 2 屈曲ピークとの間に、膝屈筋群は足関節の第 1 背屈ピークとの間にそれぞれ有意な正の相関が認められた。

関節角速度では全ての大腿部の筋量指数と足関節の第 2 底屈ピークとの間に有意な正の相関、第 2 背屈ピーク(図 3-11)との間に有意な負の相関が認められた。さらに大腿総筋および膝伸筋群は股関節の第 1 屈曲ピークと膝関節の第 1 屈曲ピークとの間に有意な正の相関、股関節の第 1 伸展ピークと膝関節の第 1 伸展ピークとの間に有意な負の相関がそれぞれ認められた。また大腿総筋は股関節の第 2 伸展ピークとの間に有意な負の相関がそれぞれ認められた。

表 3-6 全年齢群の大腿部の筋量指数と下肢関節運動との相関係数 (n=124)

	筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
	大腿総筋		膝伸筋群		膝屈筋群	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
関節角度 (degree)						
股関節 第1屈曲量	-0.204	0.023	-0.212	0.018	-0.073	0.418
膝関節 第1伸展量	0.011	0.902	0.000	0.996	0.018	0.844
第2屈曲量	0.180	0.038	0.148	0.101	0.119	0.190
足関節 第1背屈量	0.077	0.393	-0.064	0.480	0.189	0.036
第1底屈量	0.293	0.001	0.253	0.005	0.164	0.069
第2背屈量	0.226	0.012	0.219	0.015	0.100	0.271
関節角速度 (degree/s)						
股関節 第1屈曲ピーク	-0.021	0.818	-0.080	0.375	0.058	0.522
第1伸展ピーク	0.074	0.417	0.106	0.240	-0.007	0.937
膝関節 第1屈曲ピーク	0.035	0.703	0.154	0.087	-0.120	0.184
第1伸展ピーク	0.075	0.408	0.021	0.813	0.090	0.320
第2屈曲ピーク	0.230	0.010	0.225	0.012	0.098	0.281
第2伸展ピーク	0.059	0.512	0.013	0.885	0.076	0.400
足関節 第1背屈ピーク	-0.121	0.180	-0.006	0.946	-0.178	0.048
第1底屈ピーク	0.330	< 0.001	0.257	0.004	0.215	0.017
第2背屈ピーク	-0.123	0.174	-0.074	0.416	-0.105	0.245
関節角加速度 (degree/s <sup>2</sup> )						
股関節 第1伸展ピーク	-0.181	0.043	-0.255	0.004	0.009	0.918
第1屈曲ピーク	0.237	0.007	0.249	0.005	0.083	0.356
第2伸展ピーク	-0.226	0.011	-0.164	0.067	-0.161	0.073
膝関節 第1伸展ピーク	-0.183	0.041	-0.228	0.010	-0.024	0.790
第1屈曲ピーク	0.311	< 0.001	0.336	< 0.001	0.097	0.283
第2伸展ピーク	0.049	0.588	0.002	0.976	0.071	0.429
足関節 第1背屈ピーク	-0.144	0.108	-0.064	0.479	-0.148	0.099
第1底屈ピーク	0.155	0.084	0.059	0.512	0.170	0.058
第2底屈ピーク	0.263	0.003	0.187	0.036	0.190	0.033
第2背屈ピーク	-0.377	< 0.001	-0.237	0.007	-0.308	< 0.001
第3底屈ピーク	-0.036	0.684	-0.065	0.471	0.016	0.855
有意な相関						

(大腿総筋)  $r = 0.330, p < 0.001$

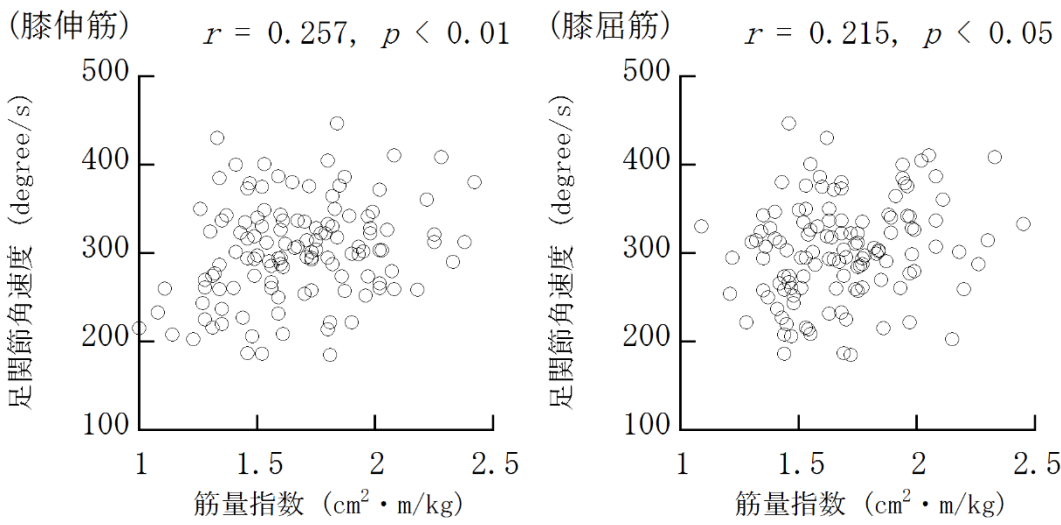
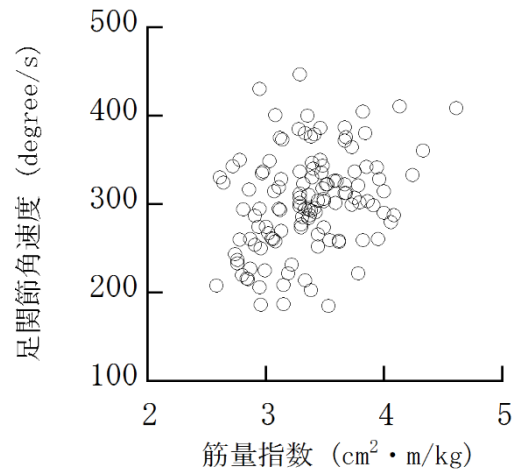
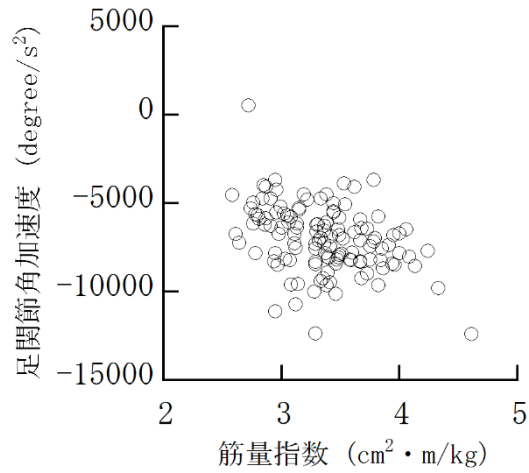
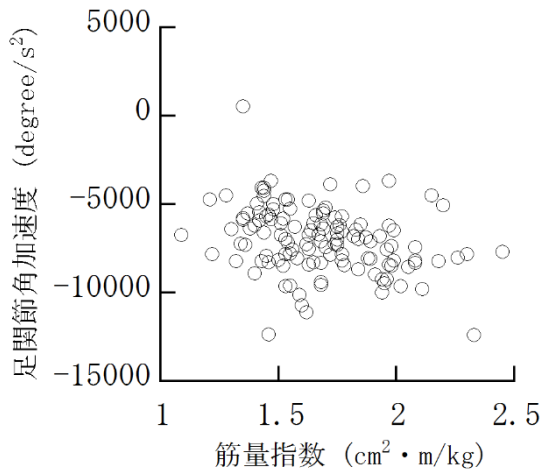


図 3-10 大腿部の筋量指数と足関節角速度の第1底屈ピークとの相関関係 (n=124)

(大腿総筋)  $r = -0.377, p < 0.001$



(膝屈筋)  $r = -0.308, p < 0.001$



(膝伸筋)  $r = -0.237, p < 0.01$

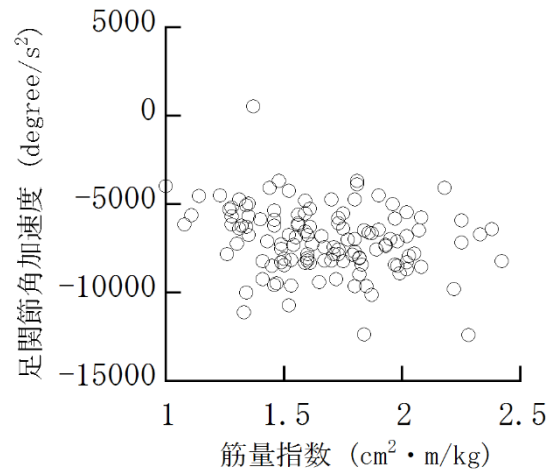


図 3-11 大腿部の筋量指数と足関節角加速度の第2背屈ピークとの相関関係 (n=124)



### 3.3.2.5. 大腿部の筋量と下肢関節運動のピーク時期との関係性

全年齢群における大腿部の筋量と下肢関節運動のピーク時期との関係性を表 3-7 に示す。

関節角度のピーク時期において、大腿総筋および膝伸筋群は、足関節の第 1 底屈ピークとの間に有意な正の相関、膝関節の第 1 伸展ピーク時期との間に有意な負の相関が認められた。さらに膝伸筋群は足関節の第 2 背屈ピークの出現時期との間に有意な正の相関が認められた。

関節角速度の出現時期では、膝伸筋群と膝関節の第 2 屈曲ピーク時期との間に有意な正の相関、膝屈筋群は、足関節の第 2 背屈ピーク時期との間にそれぞれ有意な負の相関が認められた。

関節角速度では大腿総筋の筋量指数と膝関節の第 2 伸展ピーク時期および足関節の第 1 背屈ピーク時期との間に有意な正の相関、膝関節の第 1 屈曲ピークとの間に有意な負の相関それぞれが認められた。また膝伸筋群は膝関節の第 1 伸展ピーク時期、第 2 伸展ピーク時期および足関節の第 2 底屈ピーク時期との間に有意な正の相関が認められた。そして膝屈筋群は膝関節の第 1 屈曲ピークとの間のみに有意な負の相関が認められた。

表 3-7 全年齢群の大腿部の筋量指数と下肢関節運動のピーク時期との相関係数 (n=124)

		筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
		大腿総筋		膝伸筋群		膝屈筋群	
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
角度ピーク出現 (%)							
股関節	第1 伸展ピーク	-0.006	0.945	0.000	0.996	-0.010	0.909
	第1 屈曲ピーク	-0.006	0.940	-0.011	0.896	0.002	0.977
膝関節	第1 屈曲ピーク	0.137	0.127	0.057	0.526	0.145	0.107
	第1 伸展ピーク	-0.233	0.008	-0.196	0.028	-0.136	0.131
	第2 屈曲ピーク	-0.113	0.210	-0.026	0.770	-0.142	0.114
足関節	第1 底屈ピーク	0.205	0.022	0.176	0.050	0.115	0.203
	第1 背屈ピーク	0.161	0.073	0.127	0.156	0.102	0.259
	第2 底屈ピーク	0.015	0.860	0.085	0.344	-0.071	0.431
	第2 背屈ピーク	0.168	0.061	0.228	0.010	0.001	0.987
角速度ピーク出現 (%)							
股関節	第1 屈曲ピーク	-0.039	0.660	-0.070	0.433	0.018	0.835
	第1 伸展ピーク	0.041	0.647	0.037	0.681	0.021	0.814
膝関節	第1 屈曲ピーク	-0.084	0.351	-0.093	0.302	-0.024	0.788
	第1 伸展ピーク	0.043	0.627	0.008	0.923	0.057	0.528
	第2 屈曲ピーク	0.160	0.075	0.219	0.014	-0.001	0.984
	第2 伸展ピーク	-0.165	0.066	-0.144	0.109	-0.089	0.320
足関節	第1 背屈ピーク	0.016	0.856	0.015	0.867	0.007	0.934
	第1 底屈ピーク	0.136	0.129	0.169	0.060	0.019	0.833
	第2 背屈ピーク	-0.127	0.158	-0.003	0.966	-0.190	0.034
角加速度ピーク出現 (%)							
股関節	第1 伸展ピーク	0.069	0.442	0.137	0.126	-0.048	0.589
	第1 屈曲ピーク	0.034	0.706	0.078	0.388	-0.035	0.695
	第2 伸展ピーク	-0.032	0.719	-0.047	0.604	0.003	0.970
膝関節	第1 伸展ピーク	0.168	0.061	0.206	0.021	0.024	0.786
	第1 屈曲ピーク	-0.242	0.006	-0.158	0.077	-0.191	0.033
	第2 伸展ピーク	0.282	0.001	0.281	0.001	0.115	0.200
足関節	第1 背屈ピーク	0.194	0.030	0.149	0.097	0.128	0.153
	第1 底屈ピーク	0.049	0.588	0.028	0.753	0.042	0.641
	第2 底屈ピーク	0.161	0.073	0.220	0.014	0.000	0.995
	第2 背屈ピーク	-0.005	0.950	0.075	0.406	-0.092	0.307
	第3 底屈ピーク	0.002	0.974	0.140	0.119	-0.152	0.091
	有意な相関						

### 3.3.2.6. 下腿部の筋量と下肢関節運動との関係性

全年齢群における下腿部の筋量と下肢関節運動との関係性を表 3-8 に示す。

関節角度に関して、足背屈筋群および足底屈筋群において、足関節の第 1 底屈量との間のみ有意な正の相関が認められた。

また関節角速度においても、全ての下腿の筋量指数は足関節の第 1 ピークとのみ有意な正の相関がそれぞれ認められた。しかしながら、他の下肢関節の角度および角速度は下腿部の筋量指数との間に有意な相関関係は認められなかった。

関節角加速度においては、足関節の第 2 背屈ピークは下腿部の全ての筋量指数と有意の負の相関係数を示した。また下腿総筋および足底屈筋群は股関節の第 1 伸展ピークとの間に有意な負の相関が認められた。さらに下腿総筋は膝関節の第 1 伸展ピークとの間に有意な負の相関が認められた。そして足背屈筋群は足関節の第 2 底屈ピークとの間に有意な正の相関が認められた。

表 3-8 全年齢群の下腿部の筋量指数と下肢関節運動との相関係数 (n=111)

	筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
	下腿総筋		足背屈筋群		足底屈筋群	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
関節角度 (degree)						
股関節 第1 屈曲量	-0.122	0.179	-0.002	0.980	-0.162	0.089
膝関節 第1 伸展量	-0.123	0.174	-0.067	0.482	-0.130	0.174
第2 屈曲量	0.105	0.245	0.089	0.354	0.105	0.272
足関節 第1 背屈量	-0.076	0.404	0.018	0.852	-0.099	0.303
第1 底屈量	0.176	0.051	0.207	0.030	0.193	0.042
第2 背屈量	0.162	0.072	0.182	0.056	0.168	0.077
関節角速度 (degree/s)						
股関節 第1 屈曲ピーク	0.009	0.922	0.027	0.779	-0.031	0.748
第1 伸展ピーク	-0.034	0.704	-0.098	0.309	0.024	0.801
膝関節 第1 屈曲ピーク	0.142	0.115	0.082	0.394	0.141	0.139
第1 伸展ピーク	0.009	0.918	0.010	0.919	-0.002	0.979
第2 屈曲ピーク	0.093	0.306	0.014	0.881	0.139	0.144
第2 伸展ピーク	0.058	0.520	0.027	0.777	0.076	0.429
足関節 第1 背屈ピーク	-0.028	0.762	0.013	0.894	-0.057	0.551
第1 底屈ピーク	0.216	0.016	0.227	0.017	0.213	0.025
第2 背屈ピーク	-0.045	0.623	-0.167	0.079	-0.015	0.879
関節角加速度 (degree/s <sup>2</sup> )						
股関節 第1 伸展ピーク	-0.228	0.010	-0.173	0.068	-0.223	0.018
第1 屈曲ピーク	0.106	0.239	0.036	0.705	0.130	0.172
第2 伸展ピーク	-0.113	0.210	-0.061	0.520	-0.108	0.258
膝関節 第1 伸展ピーク	-0.199	0.026	-0.173	0.068	-0.180	0.057
第1 屈曲ピーク	0.135	0.133	0.110	0.248	0.132	0.164
第2 伸展ピーク	0.121	0.177	0.021	0.824	0.123	0.196
足関節 第1 背屈ピーク	-0.116	0.199	-0.057	0.547	-0.116	0.222
第1 底屈ピーク	0.032	0.721	-0.100	0.293	0.108	0.255
第2 底屈ピーク	0.173	0.054	0.214	0.023	0.140	0.140
第2 背屈ピーク	-0.284	0.001	-0.271	0.003	-0.259	0.005
第3 底屈ピーク	-0.014	0.875	-0.054	0.569	0.029	0.757
有意な相関						

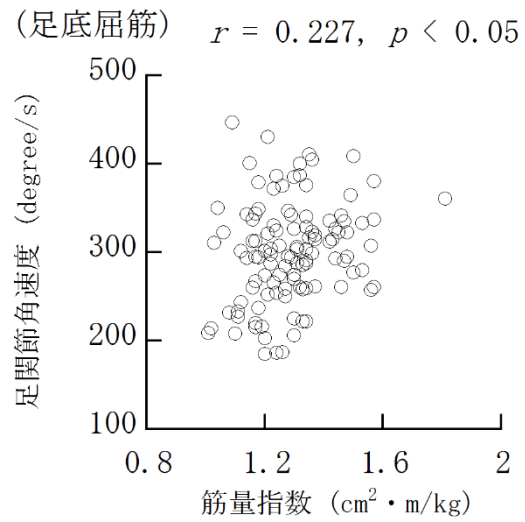
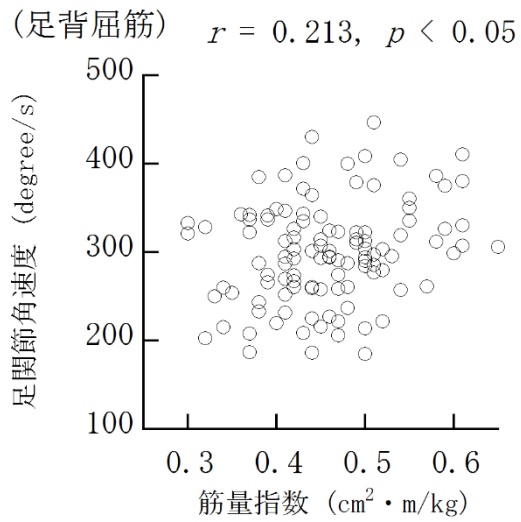
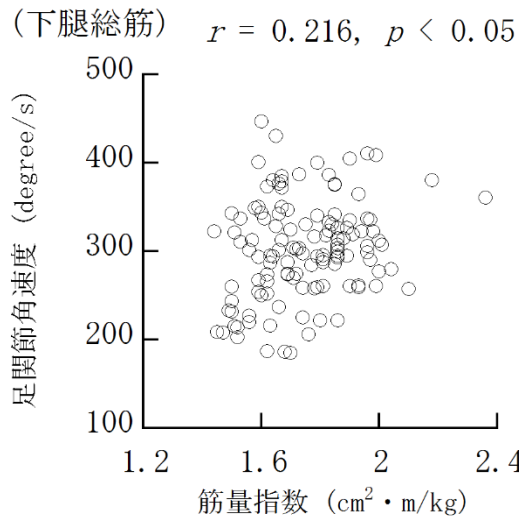
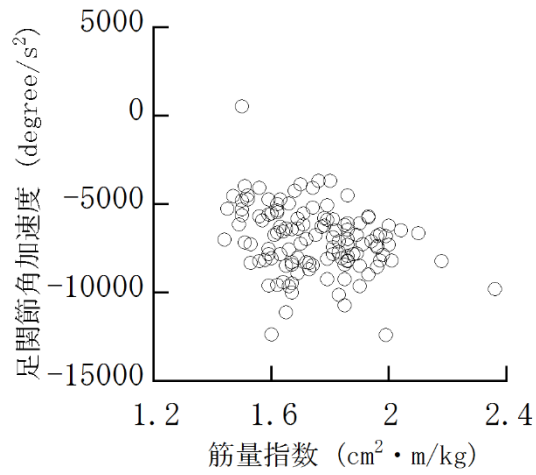
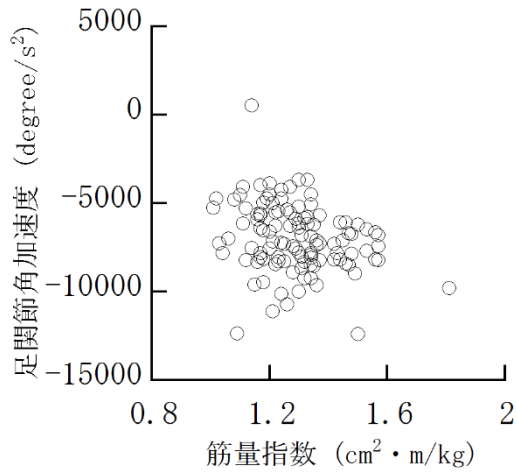


図 3-12 下腿部の筋量指数と足関節角速度の第1底屈ピークとの相関関係 (n=111)

(下腿総筋)  $r = -0.284, p < 0.05$



(足底屈筋)  $r = -0.259, p < 0.01$



(足背屈筋)  $r = -0.271, p < 0.01$

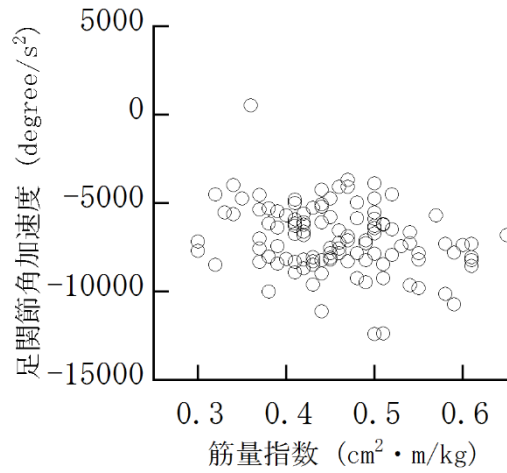


図 3-13 下腿部の筋量指数と足関節角加速度の第2背屈ピークとの相関関係 (n=111)

### 3.3.2.7. 下腿部の筋量と下肢関節運動のピーク時期との関係性

全年齢群における下腿部の筋量と下肢関節運動のピーク時期との関係性を表 3-9 に示す。

関節角度に関して, 下腿総筋および足底屈筋群は膝関節の第 1 屈曲ピーク時期と足関節の第 1 底屈ピーク時期および第 2 背屈ピーク時期との間に有意な正の相関, 膝関節の第 1 伸展ピーク時期との間に有意な負の相関が認められた。また下腿総筋は膝関節の第 2 屈曲ピーク時期と有意な負の相関が認められた。

また関節角速度においては, 下腿総筋と膝関節の第 2 伸展ピークとの間にのみ有意な負の相関が認められ, 他のいずれの組み合わせにおいても有意な相関はなかった。

関節角加速度においては, 下腿総筋および足底屈筋群が足関節の第 1 背屈ピークのみと有意な正の相関が認められたが, 他の角加速度ピーク時期と下腿部の筋量指数との間に有意な相関は認められなかった。

表 3-9 全年齢群の下腿部の筋量指数と下肢関節運動のピーク時期との相関係数 (n=111)

		筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
		下腿総筋		足背屈筋群		足底屈筋群	
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
角度ピーク出現 (%)							
股関節	第1 伸展ピーク	-0.121	0.180	-0.098	0.302	-0.087	0.360
	第1 屈曲ピーク	-0.055	0.539	-0.022	0.815	-0.060	0.528
膝関節	第1 屈曲ピーク	0.199	0.026	0.031	0.740	0.267	0.004
	第1 伸展ピーク	-0.208	0.020	-0.147	0.123	-0.217	0.021
	第2 屈曲ピーク	-0.187	0.036	-0.085	0.373	-0.169	0.074
足関節	第1 底屈ピーク	0.339	< 0.001	0.137	0.149	0.352	< 0.001
	第1 背屈ピーク	0.038	0.670	0.084	0.379	0.024	0.799
	第2 底屈ピーク	-0.103	0.253	-0.056	0.554	-0.086	0.367
	第2 背屈ピーク	0.208	0.020	0.090	0.347	0.231	0.014
角速度ピーク出現 (%)							
股関節	第1 屈曲ピーク	-0.079	0.379	-0.040	0.673	-0.077	0.417
	第1 伸展ピーク	-0.058	0.519	-0.114	0.229	-0.009	0.923
膝関節	第1 屈曲ピーク	0.129	0.152	0.095	0.316	0.102	0.285
	第1 伸展ピーク	-0.025	0.780	-0.054	0.571	0.017	0.851
	第2 屈曲ピーク	0.003	0.972	0.044	0.639	0.015	0.874
	第2 伸展ピーク	-0.183	0.041	-0.164	0.084	-0.145	0.126
足関節	第1 背屈ピーク	0.066	0.461	-0.039	0.679	0.090	0.342
	第1 底屈ピーク	-0.032	0.721	-0.027	0.773	0.002	0.982
	第2 背屈ピーク	-0.042	0.639	-0.111	0.245	-0.009	0.918
角加速度ピーク出現 (%)							
股関節	第1 伸展ピーク	0.121	0.180	0.134	0.159	0.084	0.379
	第1 屈曲ピーク	0.002	0.974	0.078	0.414	-0.030	0.746
	第2 伸展ピーク	-0.075	0.403	-0.183	0.053	-0.005	0.956
膝関節	第1 伸展ピーク	0.164	0.068	0.129	0.176	0.130	0.170
	第1 屈曲ピーク	-0.173	0.054	-0.060	0.529	-0.161	0.090
	第2 伸展ピーク	0.117	0.195	0.024	0.797	0.168	0.077
足関節	第1 背屈ピーク	0.288	0.001	0.041	0.663	0.378	< 0.001
	第1 底屈ピーク	0.144	0.109	0.074	0.435	0.134	0.157
	第2 底屈ピーク	-0.039	0.660	-0.032	0.737	-0.001	0.986
	第2 背屈ピーク	-0.124	0.168	-0.080	0.400	-0.091	0.337
	第3 底屈ピーク	-0.105	0.243	-0.039	0.683	-0.124	0.192

有意な相関



### 3.3.2.8. 大腿部の筋量とフットクリアランスとの関係性

全年齢群における大腿部の筋量指数とフットクリアランスとの関係性を表 3-10 に示す。膝伸筋群の筋量指数はフットクリアランスのピーク 1 およびボトム 1 との間に有意な正の相関が認められた。一方で大腿総筋および膝屈筋群は、フットクリアランスのピーク 2 との間に有意な正の相関が認められた。

表 3-10 全年齢群における大腿部の筋量指数とフットクリアランスとの相関係数 (n=124)

	筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
	大腿総筋		膝伸筋群		膝屈筋群	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
フットクリアランス (cm)						
ピーク 1	0.175	0.051	0.210	0.019	0.032	0.721
ボトム 1	0.132	0.142	0.182	0.041	-0.002	0.975
ピーク 2	0.217	0.015	0.102	0.255	0.215	0.016
	有意な相関					

### 3.3.2.9. 下腿部の筋量とフットクリアランスとの関係性

全年齢群における下腿部の筋量指数とフットクリアランスとの関係性を表 3-11 に示す。足背屈筋群の筋量指数はフットクリアランスのピーク 1 およびボトム 1 との間に有意な正の相関が認められた。一方で下腿総筋および足底屈筋群は、フットクリアランスのピーク 2 との間に有意な正の相関が認められた。

表 3-11 全年齢群における下腿部の筋量指数とフットクリアランスとの相関係数 (n=111)

	筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
	下腿総筋		足背屈筋群		足底屈筋群	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
フットクリアランス (cm)						
ピーク 1	0.123	0.172	0.224	0.012	0.090	0.316
ボトム 1	0.168	0.061	0.312	< 0.001	0.062	0.488
ピーク 2	0.196	0.028	0.087	0.335	0.188	0.035
	有意な相関					

### 3.3.3. 高齢群における下肢筋量と歩行動作との関係性

#### 3.3.3.1. 下肢筋量と年齢との関係性

高齢群における大腿部および下腿部の筋量指数と年齢との関係性をそれぞれ表 3-12 と表 3-13 に示す。大腿部においては大腿総筋および膝伸筋群は年齢との有意な負の相関係数を示した。下腿部においては足背屈筋群と年齢との間に有意な負の相関が見られた。しかしながら膝屈筋群, 下腿総筋, 足底屈筋群は年齢との間に有意な相関が認められなかった。

表 3-12 高齢群における年齢と大腿部の筋量指数との相関係数 (n=41)

	筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
	大腿総筋		膝伸筋群		膝屈筋群	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
年齢 (歳)	-0.338	0.030	-0.392	0.011	-0.033	0.833
有意な相関						

表 3-13 高齢群における年齢と下腿部の筋量指数との相関係数 (n=41)

	筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
	下腿総筋		足背屈筋群		足底屈筋群	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
年齢 (歳)	-0.278	0.078	-0.326	< 0.001	-0.169	0.075
有意な相関						

### 3.3.3.2. 大腿部の筋量と歩行関連指標との関係性

高齢群における大腿部の筋量と歩行関連指標との関係性を表 3-14 に示す。

高齢群において、大腿部の全ての筋量指数と歩行関連指標(歩行速度, 歩幅/下肢長, 両脚支持期時間, 立脚期時間および1歩行周期に対する各歩行相(立脚期, 遊脚期および両脚支持期)の割合)との間に有意な相関関係は認められなかった。

表 3-14 高齢群における大腿部の筋量指数と歩行関連指標との相関係数 (n=41)

	筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
	大腿総筋		膝伸筋群		膝屈筋群	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
歩行周期時間 (s)	-0.095	0.550	-0.041	0.799	-0.078	0.625
歩調 (steps/min)	0.078	0.625	0.033	0.832	0.064	0.690
立脚期時間 (s)	-0.102	0.523	-0.043	0.789	-0.084	0.598
立脚期率 (%)	-0.082	0.607	0.051	0.750	-0.151	0.343
遊脚期時間 (s)	-0.045	0.775	-0.041	0.798	-0.016	0.918
遊脚期率 (%)	0.082	0.607	-0.051	0.750	0.151	0.343
両脚支持期時間 (s)	-0.150	0.348	-0.046	0.774	-0.140	0.381
両脚支持期率 (%)	-0.133	0.404	-0.001	0.996	-0.163	0.305
歩幅 (cm)	-0.014	0.928	-0.087	0.586	0.066	0.679
片脚支持期時間 (s)	-0.072	0.652	-0.036	0.820	-0.053	0.738
片脚支持期率 (%)	0.139	0.384	0.028	0.857	0.143	0.369
歩幅/身長 (%)	-0.045	0.776	-0.153	0.339	0.091	0.568
歩幅/下肢長 (%)	-0.028	0.858	-0.205	0.197	0.163	0.308
歩行速度 (cm/min)	0.101	0.528	0.037	0.817	0.088	0.582

有意な相関

### 3.3.3.3. 下腿部の筋量と歩行関連指標との関係性

高齢群における下腿部の筋量と歩行関連指標との関係性を表 3-15 に示す。

歩幅/下肢長は全ての下腿の筋群と正の相関関係を示した(図 3-17)。また下腿総筋および足背屈筋群は、歩幅(図 3-14)および歩行速度(図 3-16)との間に有意な正の相関を示した。加えて、下腿総筋は、立脚期率と有意な負の相関を、遊脚期率とは有意な正の相関をそれぞれ示した(図 3-15)。

表 3-15 高齢群における下腿部の筋量指数と歩行関連指標との相関係数 (n=41)

	筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
	下腿総筋		足背屈筋群		足底屈筋群	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
歩行周期時間 (s)	-0.222	0.162	-0.093	0.559	-0.223	0.160
歩調 (steps/min)	0.190	0.232	0.073	0.648	0.195	0.221
立脚期時間 (s)	-0.269	0.088	-0.135	0.397	-0.259	0.101
立脚期率 (%)	-0.311	0.047	-0.243	0.125	-0.254	0.107
遊脚期時間 (s)	-0.055	0.731	0.051	0.750	-0.094	0.557
遊脚期率 (%)	0.311	0.047	0.243	0.125	0.254	0.107
両脚支持期時間 (s)	-0.284	0.071	-0.182	0.252	-0.254	0.108
両脚支持期率 (%)	-0.273	0.083	-0.218	0.170	-0.221	0.164
歩幅 (cm)	0.364	0.019	0.263	0.095	0.310	0.047
片脚支持期時間 (s)	-0.187	0.241	-0.059	0.711	-0.198	0.213
片脚支持期率 (%)	0.266	0.091	0.181	0.254	0.233	0.142
歩幅/身長 (%)	0.250	0.114	0.197	0.216	0.204	0.199
歩幅/下肢長 (%)	0.401	0.009	0.318	0.042	0.325	0.037
歩行速度 (m/min)	0.363	0.019	0.223	0.160	0.330	0.034

(下腿総筋)  $r = 0.364, p < 0.05$  (足底屈筋)  $r = 0.310, p < 0.05$

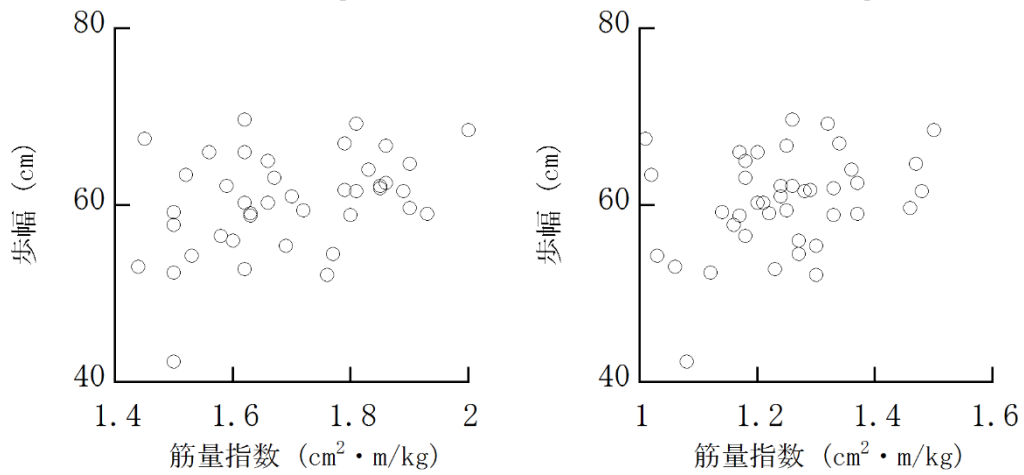


図 3-14 下腿総筋および足底屈筋群の筋量指数と歩幅との関係性 (n=41)

(下腿総筋)  $r = -0.311, p < 0.05$  (下腿総筋)  $r = 0.311, p < 0.05$

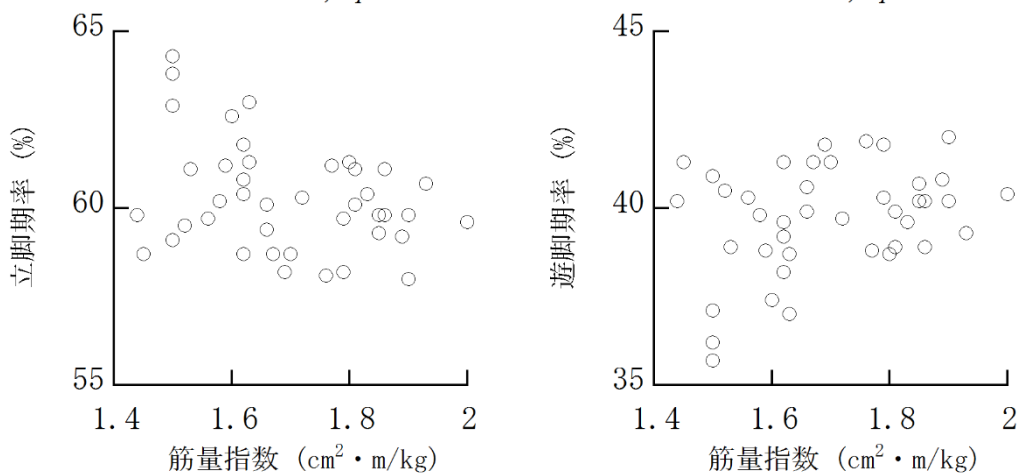


図 3-15 下腿総筋の筋量指数と立脚期率および遊脚期率との関係性 (n=41)

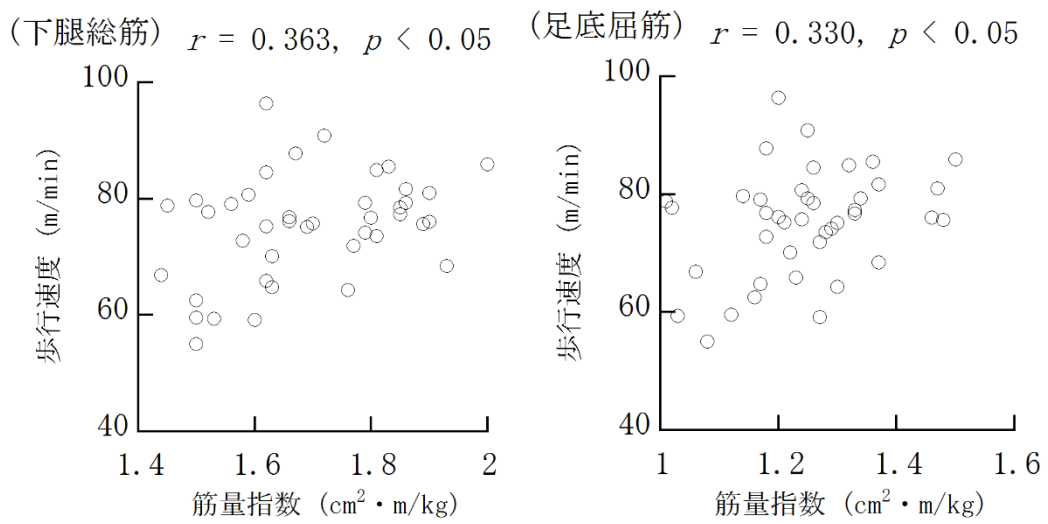
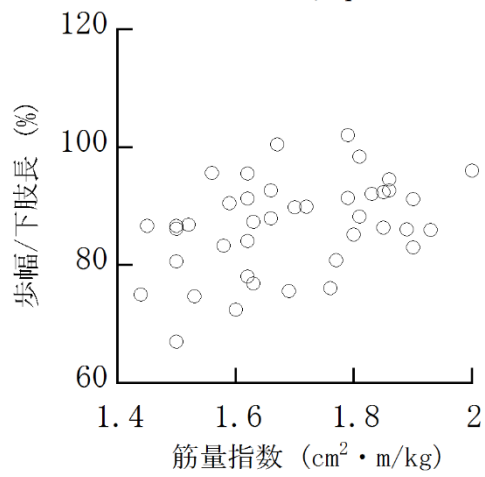
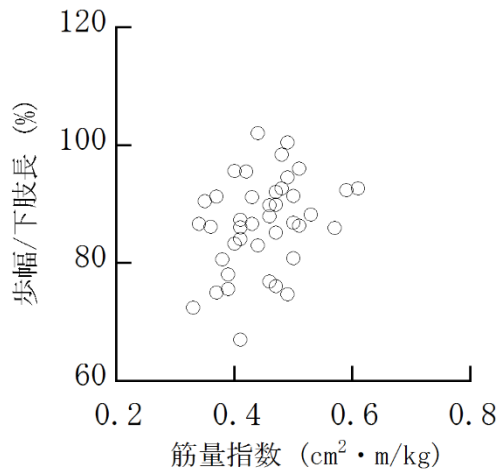


図 3-16 下腿総筋および足底屈筋群の筋量指数と歩行速度との関係性 (n=41)

(下腿総筋)  $r = 0.401, p < 0.01$



(足背屈筋)  $r = 0.318, p < 0.05$



(足底屈筋)  $r = 0.325, p < 0.05$

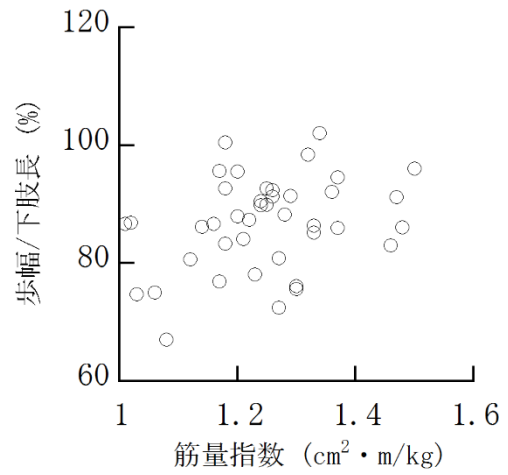


図 3-17 下腿部の筋量指数と歩幅/身長との関係性 (n=41)



#### 3.3.3.4. 大腿部の筋量と下肢関節運動との関係性

高齢群における大腿部の筋量と下肢関節運動との関係性を表 3-16 に示す。膝屈筋群の筋量指数と足関節の第 1 背屈量と間にのみ有意な相関係数が示めされ, それ以外の組み合わせでは有意な相関関係は認められなかった。

表 3-16 高齢群の大腿部の筋量指数と下肢関節運動との相関係数 (n=41)

		筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
		大腿総筋		膝伸筋群		膝屈筋群	
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
関節角度 (degree)							
股関節	第1屈曲量	0.112	0.485	0.020	0.896	0.117	0.466
膝関節	第1伸展量	0.043	0.787	0.165	0.302	-0.105	0.510
	第2屈曲量	0.115	0.470	0.218	0.169	-0.069	0.667
足関節	第1背屈量	0.066	0.680	-0.248	0.117	0.319	0.041
	第1底屈量	-0.075	0.638	-0.081	0.612	-0.013	0.935
	第2背屈量	-0.141	0.376	-0.006	0.969	-0.166	0.298
関節角速度 (degree/s)							
股関節	第1屈曲ピーク	0.192	0.227	0.174	0.274	0.067	0.676
	第1伸展ピーク	-0.136	0.395	-0.093	0.560	-0.076	0.634
膝関節	第1屈曲ピーク	0.005	0.970	0.102	0.525	-0.091	0.570
	第1伸展ピーク	0.174	0.274	0.298	0.058	-0.074	0.645
	第2屈曲ピーク	-0.045	0.775	-0.130	0.417	0.069	0.667
足関節	第2伸展ピーク	0.108	0.498	0.122	0.447	0.014	0.925
	第1背屈ピーク	0.016	0.916	0.164	0.303	-0.138	0.386
	第1底屈ピーク	0.012	0.935	-0.011	0.944	0.026	0.868
	第2背屈ピーク	0.086	0.592	0.067	0.676	0.039	0.807
関節角加速度 (degree/s <sup>2</sup> )							
股関節	第1伸展ピーク	-0.071	0.654	-0.205	0.196	0.110	0.491
	第1屈曲ピーク	0.029	0.854	-0.018	0.908	0.053	0.738
	第2伸展ピーク	0.157	0.326	0.139	0.384	0.057	0.720
膝関節	第1伸展ピーク	-0.125	0.435	-0.168	0.291	0.009	0.951
	第1屈曲ピーク	-0.005	0.972	-0.020	0.899	0.012	0.936
	第2伸展ピーク	-0.058	0.714	0.058	0.718	-0.127	0.425
足関節	第1背屈ピーク	0.267	0.090	0.229	0.149	0.106	0.508
	第1底屈ピーク	-0.131	0.412	-0.109	0.497	-0.054	0.732
	第2底屈ピーク	0.095	0.552	0.031	0.842	0.085	0.594
	第2背屈ピーク	-0.122	0.443	-0.085	0.594	-0.067	0.674
	第3底屈ピーク	-0.097	0.543	-0.109	0.495	-0.013	0.935
有意な相関							

### 3.3.3.5. 大腿部の筋量と下肢関節運動のピーク時期との関係性

高齢群における大腿部の筋量と下肢関節運動のピーク時期との関係性を表 3-17 に示す。

関節角度に関しては、いずれの指標においても大腿部の筋量指数と有意な相関関係が認められなかった。

関節角速度においては膝屈筋群と股関節の第 1 伸展ピーク時期との間に有意な正の相関が示されたが、他の大腿部の筋群と関節運動のピーク出現時期との間には有意な相関は認められなかった。

関節角速度のピーク時期では、大腿総筋の筋量指数は足関節の第 2 背屈ピークの時期との間に有意な負の相関関係を示した。膝伸筋群の筋量指数は股関節の第 1 伸展ピーク、膝関節の第 1 伸展ピークおよび足関節の第 3 底屈ピークとの間に有意な正の相関関係が認められた。そして膝屈筋群は足関節の第 3 底屈ピークとの間に有意な負の相関関係が認められた。

表 3-17 高齢群の大腿部の筋量指数と下肢関節運動のピーク時期との相関係数 (n=41)

		筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
		大腿総筋		膝伸筋群		膝屈筋群	
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
角度ピーク出現 (%)							
股関節	第1 伸展ピーク	-0.081	0.613	-0.142	0.374	0.036	0.818
	第1 屈曲ピーク	-0.129	0.420	-0.098	0.539	-0.062	0.696
膝関節	第1 屈曲ピーク	-0.023	0.885	-0.160	0.315	0.126	0.429
	第1 伸展ピーク	-0.056	0.727	-0.145	0.365	0.070	0.659
	第2 屈曲ピーク	0.088	0.582	0.052	0.746	0.057	0.720
足関節	第1 底屈ピーク	-0.108	0.500	-0.013	0.933	-0.119	0.454
	第1 背屈ピーク	0.094	0.557	0.059	0.710	0.056	0.726
	第2 底屈ピーク	-0.045	0.777	0.000	0.997	-0.055	0.729
	第2 背屈ピーク	-0.058	0.715	0.137	0.392	-0.203	0.200
角速度ピーク出現 (%)							
股関節	第1 屈曲ピーク	-0.190	0.231	-0.176	0.270	-0.062	0.696
	第1 伸展ピーク	0.190	0.232	-0.093	0.560	0.322	0.039
膝関節	第1 屈曲ピーク	-0.099	0.536	-0.169	0.290	0.041	0.797
	第1 伸展ピーク	-0.076	0.632	-0.298	0.057	0.194	0.221
	第2 屈曲ピーク	-0.002	0.987	-0.051	0.746	0.046	0.773
	第2 伸展ピーク	-0.153	0.338	-0.215	0.175	0.021	0.895
足関節	第1 背屈ピーク	0.190	0.231	0.115	0.472	0.121	0.450
	第1 底屈ピーク	-0.148	0.355	-0.035	0.826	-0.147	0.356
	第2 背屈ピーク	0.051	0.750	0.025	0.872	0.036	0.819
角加速度ピーク出現 (%)							
股関節	第1 伸展ピーク	0.128	0.421	0.309	0.049	-0.141	0.378
	第1 屈曲ピーク	-0.042	0.793	-0.060	0.707	0.006	0.968
	第2 伸展ピーク	-0.216	0.174	-0.198	0.214	-0.072	0.653
膝関節	第1 伸展ピーク	0.144	0.365	0.321	0.040	-0.133	0.404
	第1 屈曲ピーク	-0.018	0.907	-0.011	0.941	-0.012	0.939
	第2 伸展ピーク	0.023	0.884	-0.167	0.294	0.190	0.233
足関節	第1 背屈ピーク	-0.034	0.828	0.003	0.984	-0.046	0.772
	第1 底屈ピーク	0.146	0.362	0.002	0.988	0.176	0.270
	第2 底屈ピーク	-0.146	0.360	0.037	0.814	-0.216	0.174
	第2 背屈ピーク	-0.327	0.036	-0.169	0.288	-0.235	0.137
	第3 底屈ピーク	0.024	0.879	0.353	0.023	-0.311	0.047
有意な相関							

### 3.3.3.6. 下腿部の筋量と下肢関節運動との関係性

高齢群における下腿部の筋量と下肢関節運動との関係性を表 3-18 に示す。

関節角度に関して、いずれの関節角度指標も下腿部の筋量指数とは有意な相関係数を示さなかった。

関節角速度においては、足背屈筋群が股関節の第1伸展ピークとの有意な負の相関を示した。しかし、他の関節角速度指標は、下腿部の筋量指数と有意な相関関係を示さなかった。

関節角加速度に関して、下腿総筋および足背屈筋群の筋量指数が足関節の第2背屈ピークとの間に有意な負の相関関係を示した(図 3-18)。しかし、他の関節角加速度指標は、下腿部の筋量指数と有意な相関関係を示さなかった。

表 3-18 高齢群の下腿部の筋量指数と下肢関節運動との相関係数 (n=41)

	筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
	下腿総筋		足背屈筋群		足底屈筋群	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
関節角度 (degree)						
股関節 第1 屈曲量	0.156	0.327	0.212	0.182	0.078	0.626
膝関節 第1 伸展量	-0.005	0.970	0.249	0.115	-0.145	0.362
第2 屈曲量	0.081	0.611	0.162	0.309	0.012	0.940
足関節 第1 背屈量	-0.165	0.302	-0.053	0.741	-0.174	0.274
第1 底屈量	0.189	0.235	0.228	0.150	0.109	0.493
第2 背屈量	0.154	0.335	0.153	0.337	0.107	0.505
関節角速度 (degree/s)						
股関節 第1 屈曲ピーク	0.183	0.251	0.236	0.135	0.096	0.546
第1 伸展ピーク	-0.269	0.088	-0.334	0.032	-0.150	0.346
膝関節 第1 屈曲ピーク	-0.003	0.982	-0.243	0.124	0.130	0.417
第1 伸展ピーク	0.047	0.768	0.221	0.164	-0.063	0.694
第2 屈曲ピーク	-0.150	0.349	-0.244	0.123	-0.052	0.746
第2 伸展ピーク	0.270	0.086	0.067	0.673	0.297	0.058
足関節 第1 背屈ピーク	-0.026	0.870	-0.171	0.283	0.063	0.695
第1 底屈ピーク	0.221	0.164	0.268	0.089	0.126	0.432
第2 背屈ピーク	-0.106	0.507	-0.170	0.287	-0.037	0.814
股関節 第1 屈曲ピーク	0.183	0.251	0.236	0.135	0.096	0.546
関節角加速度 (degree/s <sup>2</sup> )						
股関節 第1 伸展ピーク	0.060	0.707	0.049	0.758	0.045	0.777
第1 屈曲ピーク	-0.119	0.458	-0.185	0.246	-0.046	0.774
第2 伸展ピーク	0.220	0.166	0.061	0.702	0.236	0.135
膝関節 第1 伸展ピーク	0.084	0.599	0.042	0.793	0.078	0.623
第1 屈曲ピーク	-0.194	0.222	-0.144	0.368	-0.162	0.310
第2 伸展ピーク	0.060	0.707	0.195	0.221	-0.031	0.842
足関節 第1 背屈ピーク	0.064	0.687	0.055	0.730	0.051	0.748
第1 底屈ピーク	-0.074	0.642	-0.086	0.590	-0.048	0.761
第2 底屈ピーク	0.154	0.336	0.237	0.135	0.059	0.710
第2 背屈ピーク	-0.311	0.047	-0.412	0.007	-0.160	0.316
第3 底屈ピーク	-0.033	0.837	0.003	0.983	-0.043	0.785
	有意な相関					

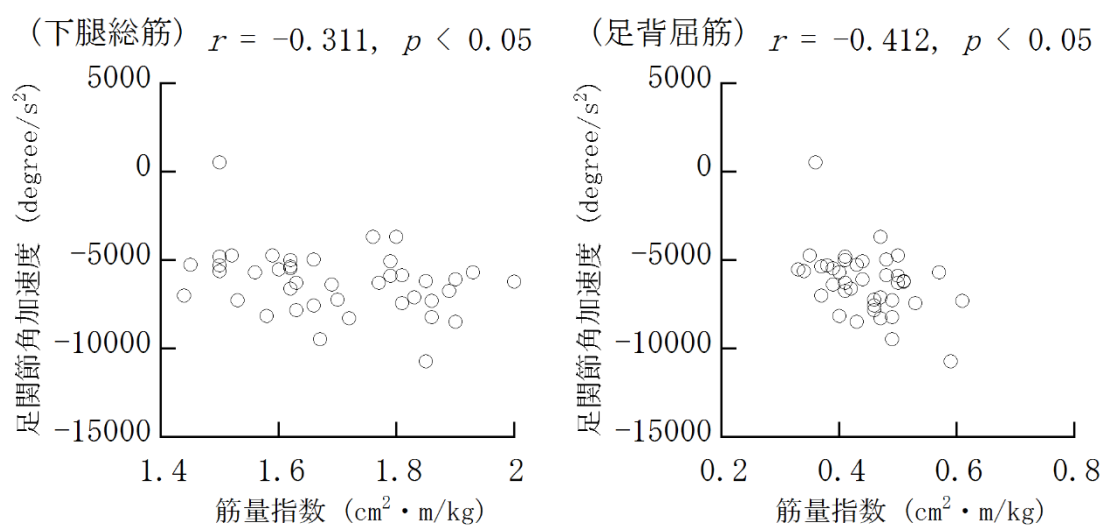


図 3-18 下腿総筋および足背屈筋群の筋量指数と足関節角加速度の第2背屈ピークとの関係性 (n=41)

### 3.3.3.7. 下腿部の筋量と下肢関節運動のピーク時期との関係性

高齢群における下腿部の筋量と下肢関節運動のピーク時期との関係性を表 3-19 に示す。

関節角度においては足底屈筋群と膝関節の第 1 屈曲ピーク時期および足関節の第 1 底屈ピーク時期との間に有意な正の相関が認められた。下腿総筋および足背屈筋群は、いずれの下肢関節運動のピーク時期との間にも有意な相関が認められなかった。

関節角速度に関しては、いずれの指標においても下腿部の筋量指数と有意な相関関係が認められなかった。

関節角加速度においては、下腿総筋および足底屈筋が、足関節の第 1 底屈ピーク時期との間の有意な正の相関が認められた。さらに下腿総筋の筋量指数は足関節の第 2 背屈ピーク時期と、足底屈筋群は足関節の第 2 底屈ピーク時期との間にそれぞれ有意な負の相関が認められた。しかしながら足背屈筋群は、いずれの関節角速度ピークの出現時期との間にも有意な相関係数を示さなかった。



表 3-19 高齢群の下腿部の筋量指数と下肢関節運動のピーク時期との相関係数 (n=41)

		筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
		下腿総筋		足背屈筋群		足底屈筋群	
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
角度ピーク出現 (%)							
股関節	第1 伸展ピーク	-0.106	0.507	-0.001	0.992	-0.129	0.418
	第1 屈曲ピーク	-0.209	0.187	-0.165	0.302	-0.168	0.293
膝関節	第1 屈曲ピーク	0.224	0.158	-0.091	0.569	0.330	0.034
	第1 伸展ピーク	-0.012	0.937	0.092	0.566	-0.064	0.687
	第2 屈曲ピーク	-0.084	0.599	-0.013	0.935	-0.098	0.540
	足関節	第1 底屈ピーク	0.236	0.136	-0.105	0.511	0.353
	第1 背屈ピーク	-0.111	0.487	-0.052	0.745	-0.108	0.497
	第2 底屈ピーク	-0.225	0.156	-0.127	0.428	-0.211	0.184
	第2 背屈ピーク	0.200	0.207	-0.012	0.939	0.255	0.107
角速度ピーク出現 (%)							
股関節	第1 屈曲ピーク	-0.047	0.766	0.055	0.728	-0.088	0.580
	第1 伸展ピーク	0.024	0.878	-0.046	0.774	0.056	0.727
膝関節	第1 屈曲ピーク	0.189	0.234	-0.104	0.514	0.292	0.063
	第1 伸展ピーク	-0.076	0.635	0.007	0.962	-0.097	0.542
	第2 屈曲ピーク	-0.234	0.139	0.026	0.867	-0.305	0.051
	第2 伸展ピーク	-0.139	0.385	-0.131	0.411	-0.101	0.526
足関節	第1 背屈ピーク	0.092	0.567	-0.096	0.548	0.169	0.289
	第1 底屈ピーク	-0.265	0.092	-0.105	0.511	-0.274	0.082
	第2 背屈ピーク	-0.060	0.707	-0.213	0.179	0.041	0.797
角加速度ピーク出現 (%)							
股関節	第1 伸展ピーク	-0.031	0.844	0.065	0.685	-0.074	0.641
	第1 屈曲ピーク	0.037	0.817	0.050	0.753	0.018	0.907
	第2 伸展ピーク	-0.149	0.350	-0.255	0.106	-0.047	0.767
	膝関節	第1 伸展ピーク	-0.088	0.583	-0.002	0.986	-0.107
	第1 屈曲ピーク	0.127	0.428	0.241	0.128	0.025	0.874
	第2 伸展ピーク	-0.158	0.321	-0.062	0.696	-0.164	0.304
足関節	第1 背屈ピーク	0.323	0.038	-0.044	0.783	0.428	0.005
	第1 底屈ピーク	0.239	0.130	0.093	0.562	0.250	0.114
	第2 底屈ピーク	-0.306	0.051	-0.122	0.445	-0.314	0.044
	第2 背屈ピーク	-0.348	0.025	-0.260	0.100	-0.291	0.064
	第3 底屈ピーク	-0.179	0.261	-0.083	0.601	-0.177	0.267
有意な相関							

### 3.3.3.8. 大腿部の筋量とフットクリアランスとの関係性

高齢群における大腿部の筋量指数とフットクリアランスとの関係性を表 3-20 に示す。大腿部の筋量指数はフットクリアランスとの間に有意な相関関係は認められなかった。

表 3-20 高齢群における大腿部の筋量指数とフットクリアランスとの相関係数 (n=41)

	筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
	大腿総筋		膝伸筋群		膝屈筋群	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
フットクリアランス (cm)						
ピーク 1	0.057	0.718	0.043	0.786	0.029	0.855
ボトム 1	0.066	0.681	0.224	0.158	-0.135	0.396
ピーク 2	-0.067	0.675	-0.021	0.892	-0.062	0.697

有意な相関

### 3.3.3.9. 下腿部の筋量とフットクリアランスとの関係性

高齢群における下腿部の筋量指数とフットクリアランスとの関係性を表 3-21 に示す。足背屈筋群の筋量指数はフットクリアランスのボトム 1 との間に有意な正の相関が認められた。しかし下腿総筋および足底屈筋群は、いずれのフットクリアランス指標との間にも有意な相関係数を示さなかった。

表 3-21 高齢群における下腿部の筋量指数とフットクリアランスとの相関係数 (n=41)

	筋量指数 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)					
	下腿総筋		足背屈筋群		足底屈筋群	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
フットクリアランス (cm)						
ピーク 1	0.174	0.276	0.257	0.104	0.078	0.625
ボトム 1	0.203	0.203	0.353	0.023	0.061	0.703
ピーク 2	0.164	0.303	-0.009	0.954	0.211	0.184

有意な相関

### 3.4. 考察

#### 3.4.1. 女性における下肢筋量の加齢変化

足背屈筋群を除いた全ての筋量指数(大腿総筋, 膝伸筋群, 膝屈筋群, 下腿総筋および足底屈筋群)と年齢との間に有意な負の相関が見られた。これらの結果は, 女性において年齢が大きいほど大腿部の各筋群および足底屈筋群および下腿部の総筋量が小さいことを示している。また年齢との相関係数は下腿部と比較し大腿部の各筋群がより大きく, 相関係数の強さは部位によって異なった。相関係数の大きさが筋群ごとに異なった原因としては, 各筋群の筋線維組成の差(速筋線維と遅筋線維の割合)<sup>31)69)70)71)</sup>や各筋の活動量の差<sup>67)72)73)</sup>などに起因する下肢筋量の老化の部位差によると考えられる。例えば, 足背屈筋群は年齢との有意な相関が唯一みられなかったが, この筋群は, 他の筋群と比べ, 加齢によって萎縮しやすい速筋線維の割合が少ない<sup>69)</sup>。このように本研究で得られた年齢と下肢筋量の相関係数は下肢筋と老化の関係性を検討した先行研究と同様の結果が得られた。

#### 3.4.2. 高齢期における下肢筋量の加齢変化

高齢期における下肢筋量の変化をみると, 全年齢群同様, 大腿総筋や膝伸筋群の筋量は年齢の増加に伴い有意に減少する一方で, 足関節の背屈筋群との間の有意な負の相関が認められた。いままでの知見を踏まえると下肢の筋群の中でも膝伸筋群は加齢の影響を受けやすい筋群であるため<sup>67)72)</sup>, 高齢期にもおいても同様の傾向が見られたと思われる。対して足背屈筋群が年齢の増加とともに減少することは高齢期においてのみ見られた相関関係である。

足背屈筋群は他の筋群と比べ遅筋線維の割合が大きく<sup>69)</sup>, 筋線維の観点からみると他の筋群と比べ, 老化しにくいと考えられる。他方, 下肢筋量の減少を招く他の要因としては, 身体活動量の低下が挙げられる。筋力の減少などの加齢に伴う下肢機能の低下は, 日常的な身体活動量の減少を引き起こすため<sup>74)</sup>, 高齢者において, 加齢が進行するほど身体機能の低下

が進み, 結果として日常の身体活動量が減少すると考えられる。従って高齢期においては, 遅筋線維の委縮の影響を受けにくい足背屈筋群においても, 他の身体機能の老化によって生じる身体活動の減少により筋量が減少すると思われる。特に足背屈筋群に関して, 歩行などの日常生活動作時の筋活動は小さく<sup>73)</sup>, 身体活動量の低下によって筋がより衰えやすい可能性がある。従って, この身体活動量の減少の影響が他の筋群と比べて大きかったことに起因し, 高齢群においてのみ, 足背屈筋群と年齢との間に有意な負の相関が示されたと考えられる。

#### 3. 4. 3. 女性における下肢筋量の加齢変化が歩行に与える影響

筋量は筋力と比例するため<sup>63)</sup>, 大腿部の筋量指数は股関節および膝関節, 下腿部の筋量指数は膝関節と足関節の運動にそれぞれ影響を与えている。歩行中の下肢の筋活動を歩行相からみると, 大腿部では膝関節伸筋群のうち内側広筋, 外側広筋および中間広筋は主に荷重応答期や立脚中期, 大腿直筋は前遊脚期, そしてハムストリングスなどの膝関節屈筋群は遊脚後期から初期接地に活動する<sup>75)</sup>。対して下腿の筋群は膝関節や足関節の運動に貢献しており<sup>75)</sup>, 足背屈筋群(前脛骨筋, 長母指伸筋および長趾伸筋)は前遊脚期から荷重応答期にかけて, 足底屈筋群(下腿三頭筋および内外果周囲果筋)は, 荷重応答期から前遊脚期にかけて強く活動する<sup>59)</sup>。これらのことから, 大腿部および下腿部の筋量は, 上記の筋活動が行われる歩行相における下肢関節運動に強く影響すると予測される。以降の段落では, これらの歩行中の大腿部および下腿部の筋の活動の時期を踏まえて考察を行った。

#### 3. 4. 4. 歩行関連指標と下肢筋量との相関関係

大腿総筋, 膝伸筋群, 膝屈筋群, 下腿総筋および足底屈筋群が大きいほど, 有意に歩幅が大きかった。これは加齢による歩幅の減少要因の一つとして下肢筋の減弱が挙げられるという先行研究の知見を支持する結果である<sup>13)17)</sup>。これらの相関関係が示された要因を明らか

にするには、歩行中の大腿部や下腿部の筋の役割に注目する必要がある。地面離地時、対側脚において膝伸筋群は脚部および体幹を固定させる役割がある<sup>76)</sup>。大腿部の筋量と歩幅との関係性に着目した研究では、この筋群の筋量の減少により、体幹支持における安定性を損なうことが歩幅の減少をもたらすと考察されている<sup>36)</sup>。また下腿部の筋群において、立脚後期では足部を安定させるために足底屈筋群（ヒラメ筋や腓腹筋などの下腿三頭筋）が活発に働く<sup>77)</sup>。この働きはアンクルロッカーとも呼ばれ、身体の安定性と歩行時の推進力を保つ重要な役割を持っている<sup>78)</sup>。これらのことから大腿部や下腿部の筋群は、下肢関節運動を制御することで体幹支持の安定性や前方への推進力に影響を与えているため、大腿部および下腿部の筋量と歩幅との間の有意な相関関係が示されたと思われる。

さらに大腿部の総筋量および膝伸筋群の筋量が大きいほど、遊脚期時間が長く、歩調が遅かった。歩調は立脚期および遊脚期の時間の総和である1歩行周期時間の逆数であるため、歩調の減少は遊脚期時間の増加の影響を大きく受ける。遊脚期に影響を及ぼす膝伸筋群の活動時期として、立脚終期や踵接地後の荷重応答期が挙げられる。立脚終期においては、膝伸筋群の活動により、膝関節の伸展位を保持しつつ、股関節の屈曲が行われ、それによって地面を蹴り出すことができる<sup>79)</sup>。遊脚期の下肢の降り出しは、この蹴り出しの力によって成立する。さらに遊脚期に関わる大腿部の筋活動に関して、遊脚後期においてハムストリングスは、股関節の屈曲を抑制し、下肢の振出を制御する役割がある<sup>75)</sup>。そして接地後、膝伸筋群の活動によって、接地時の反力により生じる受動的な膝関節の屈曲を抑制される<sup>80)</sup>。このように遊脚期の運動に対し大腿部の筋群、特に膝伸筋群は大きく影響している。従って大腿部、特に膝伸筋群の筋量が大きいことで、遊脚期時間に関わる下肢関節運動に影響を受け、結果として遊脚期時間の延長ひいては歩調の減少をもたらしたと考えられる。

またこの時の膝関節の角加速度のピーク時期(図 3-1 e および f)に着目すると、大腿部の筋量指数が大きいほど、前遊脚期での膝関節の第1屈曲ピークの出現が有意に早くなり、その後の第2伸展ピークの出現が有意に遅くなっている(表 3-7)。膝関節の第1屈曲ピーク

から第2伸張ピークが出現するまでの期間は遊脚初期に該当しており、この期間が増えることで遊脚期時間の延長ひいては歩調の減少をもたらされた可能性も否定できない。

#### 3.4.5. 下肢筋量と蹴り出し動作における足関節の底屈運動との関係性

大腿部(大腿総筋, 膝伸筋群, 膝屈筋群)および下腿部(下腿総筋, 足背屈筋群, 足底屈筋群)の筋量指数が大きいほど前遊脚期の足関節の底屈角速度・角加速度や遊脚中期の足関節の背屈角速度が有意に大きかった。また大腿総筋, 膝伸筋群, 足背屈筋群および足底屈筋群の筋量指数は大きいほど同時期の底屈角度も有意に大きかった。これらの結果は, 大腿部および下腿部の筋量が大きいほど, 蹴り出し運動時に行われる足関節の底屈運動やその後の足関節の背屈角加速度が大きいことを示している。これらの足関節運動は前遊脚期から始まる蹴り出し動作の影響を強く受けており, この動作には大腿部や下腿部の複数の筋群の活動が大きく貢献している。この時, 大腿部の筋群に位置する大腿直筋が活動し, 股関節の屈曲の補助や膝関節の屈曲の抑制に貢献し, 蹴り出しを補助する<sup>81)</sup>。また接地中の足部のロッカー機能(関節を中心とした回転運動)は, 下腿部の筋群によって外力を制御し, 身体を前へと推進させる役割があり, この機能によって受け渡される力は蹴り出し運動にも利用される<sup>78)</sup>。このように蹴り出し運動は, 大腿部および下腿部の複合的な筋活動によって成立しており, 大腿部の筋群も間接的に足関節の運動に影響しうる。以上の理由から足関節の蹴り出し運動に関連するパラメータ(前遊脚期での足関節の底屈角度・角速度および角加速度や遊脚中期の背屈角加速度)は大腿, 下腿の全ての筋群の筋量指数との間に有意な相関関係が認められたと考えられる。

#### 3.4.6. 高齢群の下肢筋量の変化と歩行への影響

中年層から始まる歩行の老化は、高齢期にて加速し、急激に歩幅や歩行速度は減少する<sup>13)</sup>。従って、この歩行老化の加速の要因となるような、高齢期において大きく変動する歩行指標がある可能性も否定できない。しかしながら、この歩行老化は年々進行し、おおよそ75歳を超えると自立歩行の維持が困難となる高齢者がより増加する<sup>20)</sup>。そこで本研究では65-75歳を対象とした高齢群における下肢筋量と歩行指標間の相関係数の算出も行った。

歩行関連指標に関しては、大腿部の筋量指数はいずれの歩行関連指標とも有意な相関関係を示さなかったが、下腿部の筋群はいくつかの歩行関連指標との間に有意な相関が認められた。下腿総筋および足底屈筋群の筋量指数が大きいほど、歩幅や歩行速度が大きく、さらに下腿総筋が大きいほど1歩行周期中の立脚期が短く、遊脚期が長かった。これらの相関関係は全年齢群と同傾向にあり、高齢群においても下腿部の筋量大きいことでアンクルロッカー<sup>77)</sup>の作用が促進されることが有意な相関関係として反映されたと思われる。

下肢関節運動に関しては、大腿部の筋量指数は、ほとんどのピーク値との間に有意な相関関係は認められなかったものの、ピークの出現時期に関するパラメータとの間にはいくつかの有意な相関関係が示された。対して下腿部においては下腿総筋および足背屈筋群が大きいほど、遊脚前期での足関節の背屈角加速度のピークが大きかった。足背屈筋群は、足関節を背屈する役割を持ち、遊脚前期では足部のクリアランス(地面からつま先までの距離)を確保するために足関節を背屈させる<sup>82)</sup>。この時の背屈が素早く達成されることで、より早いクリアランスの確保が可能になると予測される。そのため足背屈筋群が大きい人ほど足関節の背屈がより速く行われていると思われる。

また高齢群において筋量と有意な相関関係が認められた指標に着目すると、全年齢群の場合においては有意な相関がみられた角度や角速度のピーク値などの指標に対し、高齢群では無相関と判別されたものが多かった。しかしその一方で高齢群においても下肢関節の角加速度のピークおよびその出現時期などの指標との間には有意な相関関係が示された。

これに対し若年者と健康的な高齢者を比較した研究において、角度や角速度では有意差がないにも関わらず、角加速度や角モーメントにおいては年代間の差が認められる事例が報告されている<sup>15)24)</sup>。これらの研究や本研究の結果を踏まえると、関節運動のパラメータの中でも歩行老化を反映しやすいものとそうでないものがあり、関節角加速度やそのピークの出現時期は比較的に下肢筋量の影響を受けやすく、ひいては歩行老化を反映しやすい指標である可能性がある。



#### 3.4.7. まとめ

本章では相関係数を用いて下肢筋量の加齢変化とそれが歩行に与える影響を検討した。その結果、足関節の背屈筋群を除く全ての筋群(大腿総筋, 膝伸筋群, 膝屈筋群, 下腿総筋および足底屈筋群)と年齢との間に負の相関が認められた。また筋部位ごとに年齢との相関の強さは異なり, 下腿部に対し大腿部の筋群でより大きな相関係数が示された。そして歩幅や歩調などの歩行指標および下肢関節運動指標とこれらの下肢筋量との有意な相関関係が示された。特に蹴り出し付近の足関節運動は全ての筋群の筋量と有意な相関関係があり, 下肢の筋群の筋量が大きいほど足関節の底屈運動が増大することが示された。また高齢群においては膝伸筋群および足背屈筋群の筋量が年齢とともに減少していた。全年齢群と比較し下肢筋量との間に有意な相関関係を示す歩行指標は少なかったものの, 関節角加速度やそのピーク時期といった歩行指標が高齢者の下腿部の筋量と強い関係性がある可能性が示された。

これらのことから, 歩行指標における加齢変化の一部が下肢筋量の加齢性の減少によって説明できる可能性が示された。しかしながら, これらの結果は広い年齢層のデータを横断的に分析したものである。従って同一個人の下肢筋量の増減においても, 本章で見られた相関関係と同様, あるいは類似した傾向が見られるかを追及する必要がある。加えて, 本章で示された有意な相関関係について, 歩幅や歩調における下肢筋量との相関係数の大きさは0.2~0.3ほどであり, 第2章で得られた相関係数と比較し大きな値を示さなかった。歩行動作の老化は下肢筋量だけでなく, 関節の可動域の減少<sup>13)53)</sup>やバランス能力の低下<sup>20)21)</sup>などの他の機能の老化の影響も受ける。これらの多要因の影響が混在しつつも, 単一の筋群の下肢筋量が歩行指標との間に有意な相関を示したことから, 相関係数の大きさを踏まえても下肢筋量が歩行動作に与える影響は決して小さくないと考えられる。

### 3.5. 第2章および第3章のまとめ

第4章にて検討する歩行指標を決定するに当たり、第2章および第3章にて得られた相関関係を表3-22および表3-23に示す。年齢と比較し下肢筋量はより多くの歩行指標と有意な相関関係が認められていた。また年齢および下肢筋量の双方と有意な相関関係が認められた歩行指標も多くあり、それらの歩行指標は、下肢筋量と比較し、年齢との間により高い相関係数を示したものが多い。また第3章において追加で解析を行った関節角速度、下肢関節運動のピーク出現時期およびフットクリアランスは多くの下肢筋群の筋量指数との有意な相関が認められた。またそれらの指標の多くは、年齢とも高い相関係数を示したものが多かった。歩行関連指標では、下肢筋量および年齢のどちらも歩行速度との間に有意な相関はないもの、歩調、歩幅および各歩行相の時間と1歩行周期に対する割合との間には有意な相関が認められた。

同様に高齢群において、下肢筋量と有意な相関関係を示した歩行指標を表3-24に示す。全年齢群と比べ、下肢筋量と有意な相関が認められた歩行指標は少なく、年齢との有意な相関はほとんどの指標でみられなかった。また歩行速度など的高齢群においてのみ下肢筋量と有意な相関関係にある歩行指標が存在した。これを踏まえると全年齢群と高齢群においては似た傾向はあるものの、高齢群独自の下肢筋量と歩行動作との相関関係があることも否定できない。第4章では高齢女性のみ焦点をあて、縦断的に筋量および歩行の変化を追跡・評価することを踏まえると、焦点を当てるべき歩行指標は高齢群における下肢筋量と歩行動作との相関関係に基づいて決定することが望ましい。

表 3-22 相関関係が示された歩行関連指標および下肢関節運動指標

	第2章 年齢との相関関係	第3章 下肢筋量との相関関係
歩行関連指標	歩調	歩調
	歩幅	
	立脚期時間	立脚期時間
		立脚期率
	遊脚期時間	遊脚期時間
		遊脚期率
	片足支持期時間	片足支持期時間
		片足支持期率
下肢関節運動	股関節角度 第1屈曲量	股関節角度 第1屈曲量
	股関節角速度 第1伸展ピーク	
	股関節角速度 第1屈曲ピーク	
		膝関節角度 第2屈曲量
	膝関節角速度 第2屈曲ピーク	膝関節角速度 第2屈曲ピーク
		足関節角度 第1背屈量
	足関節角度 第1底屈量	足関節角度 第1底屈量
	足関節角度 第2背屈量	足関節角度 第2背屈量
		足関節角速度 第1背屈ピーク
	足関節角速度 第1底屈ピーク	足関節角速度 第1底屈ピーク
	足関節角速度 第2背屈ピーク	

表 3-23 下肢筋量と有意な相関関係にある追加解析指標およびその年齢との相関係数

		年齢との相関係数
下肢関節角加速度	股関節角加速度 第1 伸展ピーク	0.361*
	股関節角加速度 第1 屈曲ピーク	-0.438*
	股関節角加速度 第2 伸展ピーク	0.424*
	膝関節角加速度 第1 伸展ピーク	0.333*
	膝関節角加速度 第1 屈曲ピーク	-0.574*
	足関節角加速度 第2 底屈ピーク	-0.334*
	足関節角加速度 第2 背屈ピーク	0.500*
	股関節角加速度 第2 伸展ピーク時期	-0.028
下肢関節運動 ピーク時期	膝関節角度 第1 屈曲ピーク時期	-0.408*
	膝関節角度 第1 伸展ピーク時期	0.280*
	膝関節角度 第2 屈曲ピーク時期	-0.123
	膝関節角速度 第2 屈曲ピーク時期	-0.513*
	膝関節角速度 第2 伸展ピーク時期	0.001
	膝関節角加速度 第1 伸展ピーク時期	-0.238*
	膝関節角加速度 第1 屈曲ピーク時期	0.197*
	膝関節角加速度 第2 伸展ピーク時期	-0.511*
	足関節角度 第1 底屈ピーク時期	-0.453*
	足関節角度 第2 背屈ピーク時期	-0.350*
	足関節角速度 第2 背屈ピーク時期	0.029
	足関節角加速度 第1 背屈ピーク時期	-0.490*
足関節角加速度 第2 底屈ピーク時期	-0.464*	
フットクリアランス	フットクリアランス ピーク 1	-0.296*
	フットクリアランス ボトム 1	0.042
	フットクリアランス ピーク 2	-0.201*

\*  $p < 0.05$

表 3-24 高齢群の下肢筋量と有意な相関を示した歩行指標およびその年齢との相関係数

	歩行指標	年齢との相関係数
歩行関連指標	歩幅	-0.072
	歩幅/下肢長	0.049
	立脚期率	-0.027
	遊脚期率	0.027
	歩行速度	-0.081
下肢関節運動	股関節角速度 第1屈曲ピーク	-0.037
	足関節角度 第1背屈量	0.190
下肢関節角速度	足関節角加速度 第2背屈ピーク	-0.032
下肢関節運動 ピーク時期	股関節角速度 第1屈曲ピーク時期	-0.070
	股関節角加速度 第1伸展ピーク時期	-0.250
	膝関節角度 第1屈曲ピーク時期	0.043
	膝関節角度 第1伸展ピーク時期	-0.225
	膝関節角加速度 第1伸展ピーク時期	-0.168
	足関節角度 第1底屈ピーク時期	-0.054
	足関節角加速度 第1背屈ピーク時期	0.428*
	足関節角加速度 第2底屈ピーク時期	0.095
	足関節角加速度 第2背屈ピーク時期	0.303
	足関節角加速度 第3底屈ピーク時期	-0.031
フットクリアランス	フットクリアランス ボトム1	-0.457*

\*  $p < 0.05$

## 第4章 高齢女性における下肢筋量の増加が歩行動作の変化に与える影響

### 4.1. はじめに

第2章および第3章において、女性における歩行動作および下肢筋量の加齢変化及びそれらの関係性に関して、若年層から高齢層までの成人女性を対象に横断的に研究を行った。その結果として、前遊脚期の足関節運動のような加齢および下肢筋量と密接にかかわる歩行指標が示された。また特に高齢群においては、関節角度や角速度と比較し角加速度のピーク値およびその出現時期が筋量との有意な相関が示された。一方でこれらの研究の限界点の一つとして横断研究であることが挙げられ、同一個人の下肢筋量が増加した際の歩行動作の変化について同様の変化を示すのかを検討する必要がある。

高齢者の下肢筋の変化と歩行動作の変化を観測するには、高齢者の運動・生活習慣に介入し、下肢筋量の変化を促す必要がある。先行研究では歩行トレーニング<sup>39)</sup>、下肢筋力トレーニング<sup>38)40)</sup>および日常の身体活動量の増加指導<sup>37)</sup>などの運動・生活習慣への介入によって下肢筋増大を促し、それらが歩行能力の向上に与える影響を検討している。しかしながら、これらの研究における歩行分析はTUGテストや10m最大歩行速度などの簡易指標の使用に留まり、歩行中の下肢運動の変化などの詳細な歩行分析を行ったものはない。

そこで、この章では高齢女性を対象とし、10週間の運動・生活介入を行い、各個人内における下肢筋量の増加および歩行動作の変化を縦断的に調査した。運動・生活介入に関して、参加者の対象筋群のみを向上させるのは非常に困難であり、介入の結果、複数の筋群の筋量の増加が予測される。そこで歩行老化防止という本研究の目的に基づき、参加者の中から介入後に歩行速度が増大あるいは維持された参加者を対象にケーススタディを実施した。

## 4.2. 方法

### 4.2.1. 被験者

被験者は健康で自立歩行が可能な日本人高齢女性 18 名 (65-81 歳) である。被験者の募集は、①補助具なしの独歩が可能, ②要支援, 要介護認定を受けていない, ③運動や生活に制限かかる疾病を持っていない, ④他の運動教室や運動指導をうけていない, ⑤高運動強度のスポーツや運動を日常的に取り組んでいない, という条件を設けて行った。被験者は, 保健所などの地域公共施設でのチラシの配布や著者が所属する研究室にて定期的に主催している筋量測定会の参加者への案内送付などにより募集した。

被験者に事前に実験および運動教室の目的, 方法, 安全性, プライバシーの保護を説明し, 署名による同意を得た。尚, 本研究は九州大学大学院芸術工学研究院・実験倫理委員会の承認 (No. 98) を得た上で行った。

### 4.2.2. プロトコル

2016 年 9 月-12 月の 10 週間間に 2 回の歩行動作および下肢筋量の測定と, 運動・生活介入を行った。測定は介入開始 1 週目および開始 10 週目の 2 回行った。1 度目の測定が終わった後に簡易的な生活指導 (日常的な歩数の記録) を実施し, これを介入 1 週目とした。運動・生活介入に関しては, 隔週 1 回, 合計 5 回の運動教室の実施と運動・生活習慣の指導の 2 つを行った。2 回目の測定は, 介入開始後 10 週間後の 5 回目の運動教室開催日以降に行った。

#### 4.2.3. 歩行動作および下肢筋量の測定

第3章 身体計測(3.2.2), 歩行動作の測定および解析(3.2.3)および下肢筋横断面積の測定および解析(3.2.4)に準じて行った。加えて, 計測点のマーキング位置, 超音波画像測定時の被験者の姿勢およびマーカ装着位置をカメラで撮影した。これらの写真は, 1回目と2回目の測定時における測定位置の誤差を少なくするために使用した。さらに大腿周囲径および下腿周囲径の計測位置(地面からの鉛直距離)をマルチン式計測器具セット PM H13(竹井機器工業社製)のアントロポメータにて計測した。この時の計測位置のデータは, 運動教室および2回目の歩行動作および下肢筋量の測定時における大腿周囲径や下腿周囲径の計測時に計測位置のずれを防止するために使用した。

また歩行動作の解析において, 介入後の変化率の解釈を容易にするため, 関節角加速度のピーク値には絶対値を用いており, 数値が大きいほど運動が速いことを示している。

これらに加え Timed Up and Go Test (TUG) を実施した。参加者には「椅子に深く腰掛けた状態から合図に合わせて立ち上がり, 3m の歩行コースをできるだけ速く歩いて往復し, 再び椅座位に戻ってください」と教示した。この後, 約3回の練習試技を設け, 参加者が動作に慣れたことを確認し, 測定を行った。測定は2回ずつ実施し, 最速値を採用した。

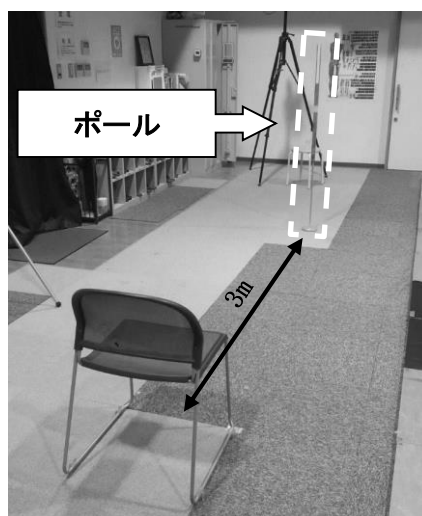


図 4-1 Timed Up and Go Test



#### 4.2.4. 運動・生活介入

##### 4.2.4.1. 運動教室の実施

2週間に1回の頻度にて運動教室を実施した。運動教室の内容は、運動前の事前測定を10分、運動指導士による運動指導を60分、歩数や運動・生活習慣の指導を20分、合計90分ほど行った。

運動前の事前測定は参加者が会場に到着後、初めに行った。事前測定にて身長、体重および大腿および下腿周囲径を測定した。計測の方法は、2.2.2 身体計測に準じて行った。測定位置に関しては、第1回目の歩行動作および下肢筋量の計測時に撮影した写真や測定記録を参考にした。

運動指導士による運動指導は、主にバランスボール、椅子およびラダーなどを使った比較的に軽度な運動とし、参加者全員が行った(図4-2)。また転倒による怪我の可能性を考慮し、運動を行う床面すべてにジョイントカラーマット(株式会社シービージャパン社製)を配置した。



図 4-2 ボールと椅子を用いた運動教室の様子

#### 4.2.4.2. 歩数の記録と目標値の設定

第1回目の測定後（介入開始後），参加者に歩数計ポケット万歩 EX-500 (YAMASA 社製) を手渡し，1日の歩数を記録するように指示をした。この時，歩数計の使い方や注意事項が記載されたマニュアルを手渡し，その場で使用法の確認を行った。歩数計の装着箇所は製品マニュアルに従い，歩数計に紐を通して首にかける方法もしくは衣服のポケット内に入れる方法のどちらかで行うように指示した。そして歩数の記録は就寝前，装着した歩数計を外した後に記録するように統一し，これを1日の歩数とし，第1回目の運動教室から最後の運動教室が行われるまでの9週間分の歩数を記録させた。記録した1日当たりの歩数は1週間ごとに平均し，データとしてまとめた。さらに記録1週目と最後の週（9週目）の歩数の差分を算出し，どのくらい歩数が増加しているかを確認した。

#### 4.2.4.3. 大腿部および下腿部に対する筋トレーニング

自宅にて軽運動に取り組むように指示した。運動は事前に9種類の軽運動を選定し，取り組んだ回数および時間を1日ごとに記録させた。運動の取り組み方の指導は，第1回目の運動教室中に行い，運動の取り組み方を記載した資料を配付した（図 4-3）。参加者に取り組ませた運動は，大腿部の筋群のトレーニングとして1. 椅子からの起立運動，2. 低い段の上り下り，3. 坂道を選んで歩く，4. 階段を使う機会を増やす，5. スクワットを使用した。対して下腿部の筋群に関しては，6. トーレイズ（つま先をあげる運動），7. 負荷ありのトーレイズ，8. つまさき立ち，9. カーフレイズ（つま先立ちと踵立ちを繰り返す運動）を使用した。自宅でトレーニングをする際には怪我の危険性を伴うため，初めのうちは軽度の運動を比較的少ない回数で実施させ，徐々に負荷をあげるように教示した。

## Q 太ももの筋肉を鍛えるためには？

日常生活で太ももを使う動作を少しずつ増やしていきましょう。  
ただし、無理は禁物です。自分のペースで行いましょう。

**イスからの起立運動**

できれば腕の力に頼らずに

1

**低い段の上り下り**

10~15cm程度の段の上り下りを繰り返します

2

**坂道を選んで歩く**

初めは緩やかなところを選びましょう

**階段を使う機会を増やす**

転倒しないようにご注意ください  
不安な人は手すりを使いましょう

**スクワット** (5~6回の繰り返し×3セット)

息は止めずに吸いながら  
イスに腰掛ける感覚で尻を後ろに引き、ゆっくり体を沈める

膝は90°以上曲げない

踵はつま先より前に出さない

足を引ながらゆっくり元の姿勢に戻る

3

太ももやお尻の筋肉を意識して行くと、より効果的です。

**注意** | 下腿・膝の関節や筋肉に痛みがある人、高血圧・糖尿病・心臓病などの持病がある方は、医師と相談してから始めましょう。

## Q ふくらはぎの筋肉を鍛えるためには？

日常生活でふくらはぎを使う動作を少しずつ増やしていきましょう。  
鍛えたいふくらはぎの筋肉の部位によってやり方が異なります。

**ふくらはぎの前側のトレーニング**

**トレイズ** | 足の曲げ伸ばしを繰り返す運動です。1セット10~20回を目安にトレーニングの負荷を調整しましょう。

**初級 4**

椅子に座ったまま、足の曲げ伸ばしを10~20回ほど繰り返します。

**中級 5**

ばんちゅうで足先と踵の間に重たいものを置き、つま先で持ち上げます。

**上級**

ダンベルや水の入ったペットボトルを置いて、曲げ伸ばしをします。重たいものをつま先で持ち上げて、ゆっくり戻すイメージです。

**ふくらはぎの後ろ側のトレーニング**

**つまさき姿勢** | かかとを上げて繰り返します。後ろの筋肉を刺激してやりましょう。

**初級 6**

1セット: この姿勢を20~30秒ほどを保持

**中級 7**

不安な人は机や壁を使いましょう  
1セット 10~20回

**上級**

片足だけでやってみましょう。脚のうしろは、恥骨の近くで行い、交互に両脚で行います。それでも負荷が軽い場合にはダンベルやペットボトルを持ちながら。

使う筋肉を意識して行くと、より効果的です。

**注意** | 下腿・膝の関節や筋肉に痛みがある人、高血圧・糖尿病・心臓病などの持病がある方は、医師と相談してから始めましょう。

図 4-3 大腿部および下腿部のトレーニングを記載した資料

### 4.2.4.4. データの記録と運動・生活指導

歩数および運動・生活習慣の記録および指導は、2週間に1度の運動教室の実施日に行った。参加者が運動指導士による運動指導を受けている間に、歩数および運動・生活習慣の記録を行った。運動教室後に、この時記録したデータをもとにしたヒアリングを4週間に1度の頻度で行った。そして歩数を増やすために日常的に取り組み始めた運動やトレーニングを口頭で尋ねた。

#### 4.2.5. データ追跡

参加者 18 名の内, 全ての筋量および歩行データを追跡できた参加者は 13 名であった。残りの 5 名は超音波筋横断面計測システムによる筋量の評価が正常に行われなかった者である。これには, システム上での評価した測定部位の周囲径とメジャーで計測した実際の周囲径の差が大きい者や介入前後にて測定した筋横断面画像の形状が異なるもの等が含まれる。

#### 4.2.6. データ分析

参加者の介入前後の各指標に関しては, 身体計測および下肢筋量は 1 回の測定値, 歩行動作は 3 試行分の動作の平均値をそれぞれ代表値とした。また介入前後での各指標の変化の評価には変化量(介入後 - 介入前)もしくは変化率  $((\text{介入後} - \text{介入前}) / \text{介入前} \times 100)$  を使用した。

### 4.3. 結果

#### 4.3.1. 介入前後の下肢筋量の変化の特徴と参加者の分類

参加者7名の介入前後の下肢筋量指数およびその変化率を示す(表 4-1)。全ての参加者において、ほとんどの筋群の筋量指数が増加していた。以下、各参加者において、各筋群の中で特に大きく増加した筋量指数に言及する。

ID2 は下腿部に対して大腿部の筋量指数の増加が大きく、膝屈筋群はほとんど変化していないものの、大腿総筋および膝伸筋群の筋量指数の増加が大きかった。

ID3 は大腿部および下腿部双方の筋量指数がともに増加しており、特に膝伸筋群および足背屈筋群が増加した。

ID5 においては、他の参加者と比べ比較的介入前の筋量指数が小さかった。また大腿部の3つの筋量指数が大きく増加し、足背屈筋群の筋量指数も大きく増加していた。

ID10 においては足底屈筋群が増加したが、膝屈筋群はほとんど変化していなかった。

ID12 は足背屈筋群を除くすべての筋群が大きく増加した。また他の参加者と比べ、介入前的大腿部の筋量指数が特に小さかった。

ID16 においては特に下腿部の筋量指数の増加が大きく、足背屈筋群および足底屈筋群がともに大きく増加していた。

ID17 に関しては全ての筋群が大きく増加している。介入前の筋量指数も大腿および下腿ともに参加者7名の中でも比較的大きかった。

これらの特徴をまとめると、膝伸筋群の筋量指数が特に増加した参加者として ID2, 3 および 12 があげられる。対して膝屈筋群のみが大きく増加した参加者はいないものの、他の筋群と比較し、比較的この筋群が増加した者として、ID5 および 17 があげられる。対して下腿部では ID3, 5 および 17 においては足背屈筋群、そして ID10, 12 および 16 においては足底屈筋群が比較的増加していた。これらの分類と「表 4-3 筋量と有意な相関を示した歩行指標と歩行速度との関係性」をもとに下肢筋量の変化と歩行指標の関連について

言及する。また先行研究<sup>36)</sup>および第3章(表 3-15)などを踏まえると下肢筋量と歩行速度との間には有意な正の相関関係があると予測される。従って介入後に下肢筋量が増大しているのであれば、それに伴い歩行速度が増加している可能性が高い。このことを踏まえ、対象とする参加者は歩行速度が維持もしくは増加している者に限定した。

表 4-1 介入前後の下肢筋量指数およびその変化率

		参加者 ID						
		2	3	5	10	12	16	17
大腿総筋	介入前 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)	2.94	2.96	2.85	3.51	2.63	3.36	3.11
	介入後 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)	3.03	3.11	3.03	3.56	2.79	3.47	3.27
	変化率 (%)	3.02	5.00	6.41	1.28	5.81	3.49	5.10
膝伸筋群	介入前 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)	1.47	1.52	1.45	1.76	1.29	1.61	1.49
	介入後 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)	1.55	1.62	1.54	1.81	1.38	1.67	1.55
	変化率 (%)	5.48	6.51	6.15	2.51	6.68	3.90	4.23
膝屈筋群	介入前 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)	1.47	1.44	1.39	1.75	1.33	1.74	1.61
	介入後 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)	1.48	1.48	1.49	1.75	1.40	1.80	1.71
	変化率 (%)	0.55	3.39	6.68	0.04	4.95	3.11	5.91
下腿総筋	介入前 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)	1.76	1.67	1.77	1.43	1.70	1.77	1.90
	介入後 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)	1.81	1.74	1.82	1.48	1.77	1.88	2.01
	変化率 (%)	2.60	3.66	2.27	3.21	4.07	6.57	5.58
足背屈筋群	介入前 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)	0.46	0.44	0.42	0.37	0.46	0.49	0.53
	介入後 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)	0.48	0.46	0.44	0.38	0.47	0.52	0.57
	変化率 (%)	3.15	4.32	4.32	1.92	1.87	6.25	7.88
足底屈筋群	介入前 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)	1.29	1.23	1.35	1.06	1.24	1.27	1.36
	介入後 (cm <sup>2</sup> ・m/kg)	1.32	1.27	1.37	1.10	1.30	1.36	1.43
	変化率 (%)	2.40	3.43	1.63	3.66	4.89	6.69	4.67
		比較的に増加が大きかった筋群						

#### 4.3.2. 介入行動による歩行能力の変化

13名の参加者における介入前後のTUGテストおよび歩行速度を示す(表4-2)。

TUGテストにおいて、ID12および18を除いた参加者全てのTUG得点が向上した。対して歩行速度においてはID2, 3, 5, 10および16が増加し、ID9, 12, 17はほとんど変化しておらず、残りの参加者は歩行速度が減少していた。TUGおよび歩行速度の変化を比較してみると、ID7, 13, 14, 15および18は、歩行速度が減少したにもかかわらずTUGスコアが向上した者、もしくはTUGの変化に対して歩行速度が大きく減少している者である。TUGと歩行速度の間には有意な負の相関関係があること<sup>83)84)</sup>を踏まえると、参加者の自由速度での歩行を正しく測定できていない可能性も否定できない。そこで本研究では、TUGと歩行速度の変化が合致し、かつ歩行速度が維持もしくは向上した者に対象にケーススタディを行った。対象となった参加者7名は、ID2, 3, 5, 10, 12, 16および17である。

表 4-2 介入前後のTUGスコアおよび歩行速度の変化

ID	TUG (s)				歩行速度 (m/min)			
	介入前	介入後	変化量	変化率	介入前	介入後	変化量	変化率
2	10.09	9.72	-0.37	-3.67	64.31	66.55	2.24	3.48
3	7.74	6.98	-0.76	-9.82	68.66	76.83	8.17	11.90
5	8.22	7.97	-0.25	-3.04	67.18	69.08	1.90	2.83
7	5.74	5.31	-0.43	-7.49	80.98	77.32	-3.66	-4.52
9	7.84	7.10	-0.74	-9.44	78.49	78.69	0.19	0.29
10	7.79	6.90	-0.89	-11.42	66.80	72.42	5.62	7.42
12	7.88	7.97	0.09	1.14	75.68	75.08	-0.60	-0.82
13	8.03	6.57	-1.46	-18.18	73.59	68.67	-4.92	-6.37
14	6.72	6.53	-0.19	-2.83	77.29	75.22	-2.08	-2.64
15	7.42	6.78	-0.64	-8.63	78.78	75.29	-3.49	-4.85
16	7.31	7.16	-0.15	-2.05	71.94	74.14	2.19	2.88
17	7.37	6.93	-0.44	-5.97	76.06	75.65	-0.42	-0.62
18	5.87	5.95	0.08	1.36	67.12	64.47	-2.65	-3.98
	対象となった参加者							

#### 4.3.3. 検討対象の歩行指標に関して

本章においては、歩行速度が維持もしくは増加した参加者に限定し、下肢筋量および歩行指標の介入前後の関連を検討する。しかしながら本章においてサンプル数も少なく、歩行動作の変化が筋量の変化によるものか、歩行速度の変化によるものかを断定することが難しい。そこで対象とする歩行指標は、第3章において筋量との相関関係があり、歩行速度との相関関係がないものに限定した。対象となる歩行指標ならびにそれらと歩行速度および下肢筋量との相関係数を第3章の高齢群のデータを用いて算出した(表4-3)。これらの指標は無相関検定にて、歩行速度と有意な相関関係でなく、その相関係数が  $r=0.2$  未満だったのである(図4-4)。これらの指標と各筋群の筋量の変化を併せて検討した。

表 4-3 筋量と有意な相関を示した歩行指標と歩行速度との関係性

指標	$r$	相関関係にある筋群 (それとの相関係数)
1 股関節角速度 第1屈曲ピーク時期 (%)	-0.020	膝屈筋群 ( $r=0.323$ )
2 股関節角加速度 第1伸展ピーク時期 (%)	0.158	膝伸筋群 ( $r=0.309$ )
3 膝関節角度 第1屈曲ピーク時期 (%)	0.161	足底屈筋群 ( $r=0.331$ )
4 膝関節角加速度 第1伸展ピーク時期 (%)	0.141	膝伸筋群 ( $r=0.322$ )
5 足関節角度 第1底屈ピーク時期 (%)	-0.050	足底屈筋群 ( $r=0.354$ )
6 足関節角加速度 第1背屈ピーク時期 (%)	0.000	足底屈筋群 ( $r=0.428$ )
7 足関節角加速度 第2背屈ピーク (degree/s <sup>2</sup> )	-0.182	足背屈筋群 ( $r=-0.413$ )
8 足関節角加速度 第3底屈ピーク時期 (%)	-0.136	膝伸筋群 ( $r=0.354$ ) 膝屈筋群 ( $r=-0.318$ )
9 フットクリアランス (cm)	0.181	足背屈筋群 ( $r=0.358$ )



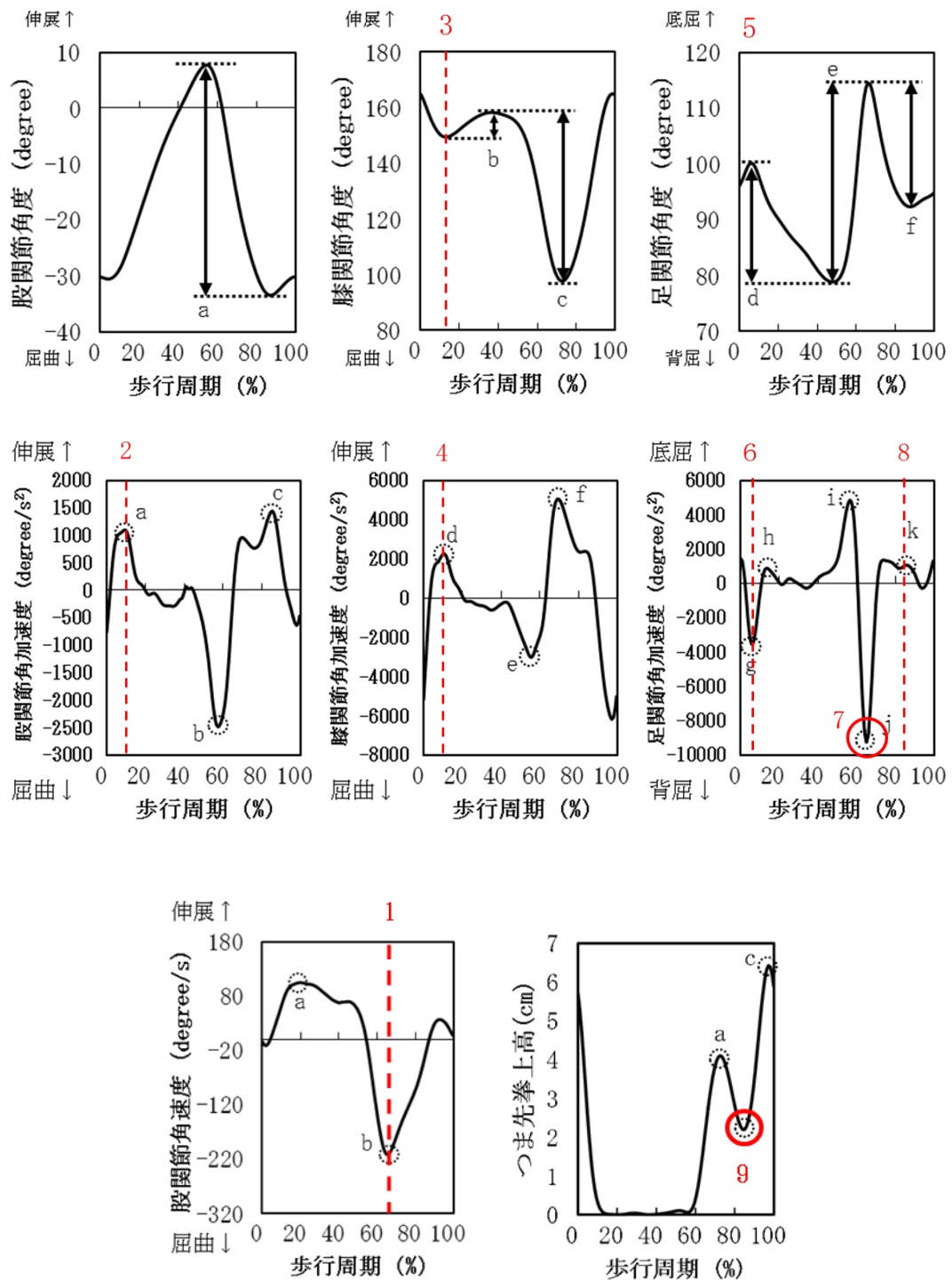


図 4-4 対象とした歩行指標について(図中の数字は表 4-3 と対応)

#### 4.3.4. 歩数の記録

1日当たりの歩数の変化を図 4-5 に、介入1週目と介入9週目における1日当たりの平均歩数を表 4-4 にそれぞれ示す。ID3 においては参加者の記録ミスにより、歩幅の記録の測定ができていない。そのためこれらの第7週目のデータを介入最終週の1日当たりの歩数のデータとした。

介入1週目から9週目までの歩数の変化量を見ると、介入後に日常的な歩数が減った者はおらず、すべての参加者は1日当たりの歩数が増加していた。歩数の増加が特に大きかったものは参加者2,3および16であった。

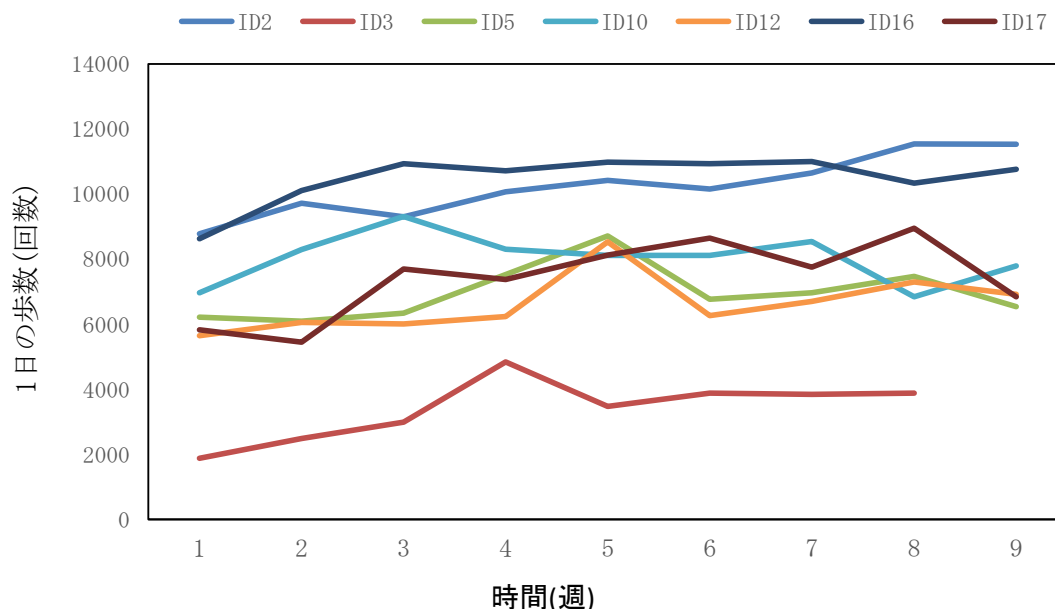


図 4-5 介入後の1日当たりの歩数の変化 (1週間ごとの平均値)

表 4-4 介入1週目と介入9週目の1日当たりの平均歩数の変化

	参加者 ID						
	2	3	5	10	12	16	17
1週目	8779.6	1876.4	6212.1	6963.3	5645.8	8626.3	5823.8
9週目	11532.8	3841.3	6541.8	7793.3	6918.3	10759.0	6838.8
変化量	2753.2	1964.8	329.6	830.0	1272.4	2132.8	1015.0

#### 4.3.5. 介入前後の歩行指標の変化

##### 4.3.5.1. 股関節角速度 第1屈曲ピーク時期

介入後に膝屈筋群が増加した参加者の介入前後の股関節角速度の第1屈曲ピーク時期を表4-1に示す。

第3章では、股関節角速度の第1屈曲ピーク時期は膝屈筋群の筋量指数と有意な正の相関関係にあり、膝屈筋群が大きい人ほど遊脚初期における膝関節角速度の屈曲ピークの出現が遅くなることを示している。

本章においては、第3章で示された相関関係と同様に、介入後に膝屈筋群が大きく増加した参加者2名において股関節第1屈曲ピーク時期の出現が遅くなっていた。

表 4-5 介入前後の股関節角速度 第1屈曲ピーク時期

ID	股関節角速度 第1屈曲ピーク時期 (%)			膝屈筋群 筋量指数の 変化率 (%)
	介入前	介入後	変化量	
5	65.50	66.40	0.90	6.68
17	64.86	65.79	0.93	5.91

#### 4.3.5.2. 股関節角加速度 第1 伸展ピーク時期

介入後に膝伸筋群が増加した参加者における介入前後の股関節角加速度の第1 伸展ピーク時期を表 4-6 に示す。

第3 章では歩行指標は股関節角加速度の第1 伸展ピーク時期と膝伸筋群との間に有意な正の相関関係があり, 膝伸筋の筋量が大きい人ほど荷重応答期の股関節角加速度の伸展ピークの出現が遅くなっていた。

対して本章における介入後の変化をみると, ID2 のみが介入後に同時期の伸展ピークの出現が遅くなっていた。他の参加者2 人は全て介入後にピーク時期の出現が早くなっており, 第3 章と異なる傾向を示した。

表 4-6 介入前後の股関節角加速度の第1 伸展ピーク時期

ID	股関節角加速度 第1 伸展ピーク時期 (%)			膝伸筋群 筋量指数の 変化率(%)
	介入前	介入後	変化量	
2	12.39	12.50	0.10	5.48
3	12.76	9.46	-3.30	6.51
12	14.43	12.06	-2.36	6.68

#### 4.3.5.3. 膝関節角度第1屈曲ピーク時期

介入後に足底屈筋群が増加した参加者における介入前後の膝関節角度第1屈曲ピーク時期を表4-7に示す。

第3章においてこの歩行指標は足底屈筋群の筋量指数との間に有意な正の相関を示しており、それは足底屈筋群が大きい人ほど荷重応答期における膝関節角度の屈曲ピークの出現が遅かったことを意味している。

本章においては介入後に底屈筋群が大きく増加した参加者3名全員が膝関節角度第1屈曲ピークの出現が早くなっており、第3章と異なる傾向が見られた。

表 4-7 介入前後の膝関節角度第1屈曲ピーク時期

ID	膝関節角度第1屈曲ピーク時期 (%)			足底屈筋群 筋量指数の 変化率 (%)
	介入前	介入後	変化量	
10	13.66	13.00	-0.66	3.66
12	16.96	15.90	-1.06	4.89
16	16.03	13.79	-2.23	6.69

#### 4.3.5.4. 膝関節角加速度第1伸展位ピーク時期

介入後に膝伸筋群が増加した参加者における介入前後の膝関節角加速度第1伸展位ピーク時期を表4-8に示す。

第3章において膝伸筋群は膝関節角加速度の第1伸展位ピーク時期との間に有意な正の相関を示しており、膝伸筋群が大きい参加者ほど荷重応答期における膝関節角加速度の伸展位ピークの出現が遅くなっていた。

第3章の結果同様、膝伸筋群の筋量の増加に対して介入後に膝関節角加速度の第1伸展位ピーク時期が遅くなった参加者はID2のみであり、他の参加者2名はピークの出現が早くなっていた。

表 4-8 介入前後の膝関節角加速度第1伸展位ピーク時期

ID	膝関節角加速度第1伸展位ピーク時期 (%)			膝伸筋群 筋量指数の 変化率 (%)
	介入前	介入後	変化量	
2	12.10	12.50	0.39	5.48
3	9.96	9.83	-0.13	6.51
12	14.46	12.36	-2.09	6.68

#### 4.3.5.5. 足関節角度第1底屈ピーク時期

介入後に足底屈筋群が増加した参加者における介入前後の足関節角度第1底屈ピーク時期を表4-9に示す。

この歩行指標は第3章において足底屈筋群との間に有意な正の相関が示されており、これは足底屈筋群が大きい参加者ほど荷重応答期における足関節の底屈角度のピークの出現が遅かった。

対して本章において足底屈筋群が増加した参加者で介入後の足関節角度の第1底屈ピークの出現が遅くなった者はおらず、ID10 および 16 では減少し、ID12 ではほとんど変化を示さなかった。

表 4-9 介入前後の足関節角度第1底屈ピーク時期

ID	足関節角度第1底屈ピーク時期 (%)			足底屈筋群 筋量指数の 変化率 (%)
	介入前	介入後	変化量	
10	5.40	5.19	-0.20	3.66
12	8.39	8.39	0.00	4.89
16	6.30	5.63	-0.66	6.69

#### 4.3.5.6. 足関節角加速度第1背屈ピーク時期

介入後に足底屈筋群が増加した参加者における介入前後の足関節角加速度第1背屈ピーク時期を表4-10に示す。

第3章において、足底屈筋群は足関節角加速度第1背屈ピーク時期との間に正の相関関係があり、足底屈筋群が大きい参加者ほど、荷重応答期における足関節角加速度の背屈ピークの出現時期が遅かった。

この相関関係に反し、介入後においてID12および16では足関節角加速度の背屈ピークの出現時期が早くなっており、ID10ではほとんどピーク時期は変化しなかった。

表 4-10 介入前後の足関節角加速度第1背屈ピーク時期

ID	足関節角加速度第1背屈ピーク時期 (%)			足底屈筋群 筋量指数の 変化率 (%)
	介入前	介入後	変化量	
10	5.80	5.83	0.03	3.66
12	8.46	8.03	-0.43	4.89
16	7.66	6.03	-1.63	6.69



#### 4.3.5.7. 足関節角加速度第2背屈ピーク

介入後に足背屈筋群が増加した参加者における介入前後の足関節角加速度第2背屈ピークを表4-11に示す。

第3章においては、足背屈筋群は足関節角加速度第2背屈ピークとの間に有意な正の相関関係があり、足背屈筋群が大きい参加者ほど、前遊脚期における足関節角加速度の背屈ピークが大きかった。

第3章の相関関係と同様に介入後の足背屈筋群の増加に伴い、ID3および17の前遊脚期の足関節角加速度の背屈ピークは増加した。一方でID5においてはほとんど変化していなかった。

表 4-11 介入前後の足関節角加速度第2背屈ピーク

ID	足関節角加速度第2背屈ピーク (degree/s <sup>3</sup> )			足背屈筋群 筋量指数の 変化率(%)
	介入前	介入後	変化率(%)	
3	4232.68	5288.04	24.93	4.32
5	6226.60	6211.16	-0.24	4.32
17	7272.13	7366.69	1.16	7.88

#### 4.3.5.8. 足関節角加速度第3底屈ピーク時期

介入後に膝伸筋群もしくは膝屈筋群が増加した参加者における介入前後の足関節角加速度第3底屈ピーク時期を表4-12および表4-13に示す。

第3章では、足関節角加速度第3底屈ピーク時期は膝伸筋群との間に有意な正の相関が示されており、膝屈筋群との間に有意な負の相関が認められている。これは膝伸筋群が大きいほど遊脚期中期における足関節角加速度の底屈ピークの出現が遅く、膝屈筋群が大きいほど底屈ピークの出現が早かったことを示している。

膝伸筋群が増加した参加者においては、ピークの出現時期はID12にて変化はほとんどなかったものの、ID2および3においては第3章の結果同様にピークの出現が遅くなった。また膝屈筋群が増加した参加者において、ID5では第3章同様に底屈ピークの出現時期は早くなり、対してID17ではピークの出現時期が遅くなった。

表4-12 膝伸筋群増加者における介入前後の足関節角加速度第3底屈ピーク時期

ID	足関節角加速度第3底屈ピーク時期 (%)			膝伸筋群
	介入前	介入後	変化量	筋量指数の 変化率(%)
2	83.39	84.50	1.10	5.48
3	78.56	80.86	2.29	6.51
12	82.53	83.06	0.53	6.68

表4-13 膝屈筋群増加者における介入前後の足関節角加速度第3底屈ピーク時期

ID	足関節角加速度第3底屈ピーク時期 (%)			膝屈筋群
	介入前	介入後	変化量	筋量指数の 変化率(%)
5	22.83	22.27	-1.56	6.68
17	14.93	16.26	0.46	5.91

#### 4.3.5.9. フットクリアランス

介入後に足背屈筋群が増加した参加者における介入前後のフットクリアランスを表 4-14 に示す。

フットクリアランスは足背屈筋群の筋量指数との有意な正の相関関係が示されており、筋量指数が大きい参加者ほどフットクリアランスは大きかった。

本章においても ID5 を除いた 2 人の参加者において、足背屈筋群の筋量指数の増加に伴いフットクリアランスが増加していた。

表 4-14 介入前後のフットクリアランス

ID	フットクリアランス (cm)			足背屈筋群 筋量指数の 変化率 (%)
	介入前	介入後	変化率 (%)	
3	1.47	1.89	28.85	4.32
5	1.75	1.41	-19.49	4.32
17	1.48	1.71	10.72	7.88

## 4.4. 考察

### 4.4.1. 介入行動による下肢筋量の変化とその傾向

介入後、ほとんどの参加者にて全ての筋群の筋量指数が増加しており、最大で 6.7%ほどの筋量指数の増加が確認された。本研究においては約 10 週間の運動・生活介入を行っており、その内容として参加者の歩数の増加や継続的な下肢筋トレーニングが挙げられる。また歩数増加の取り組みの一環としてウォーキングの実施を推奨した。地域在住高齢者を対象としたウォーキング介入を検討した研究では、約 4.5%の大腿四頭筋筋力の増加と 6.0%の最大歩行速度の増加が報告されている<sup>84)</sup>。従って本研究における筋量の増加は日常的な歩数の増加や継続的な自宅内での下肢筋力トレーニング、生活改善などの効果が複合的にもたらされた結果であると思われる。

また第 3 章において比較的に多くの歩行指標との相関が認められた膝伸筋群における変化量は他の筋群と比べ大きかった。椅子からの立ち上がり、段差昇降および歩行動作における筋活動は、高齢者において膝屈筋群よりも膝伸筋群にて負荷が大きい<sup>85)</sup>。またウォーキングの頻度が多い人は膝関節の伸展筋力が大きく、ウォーキングや 1 日当たりの歩数を増加させることで膝伸展筋筋力が向上する<sup>84)86)</sup>。従って膝伸展筋群や足底屈筋群などへの筋負荷が比較的に大きい運動・生活介入を行ったため、それらの筋群の筋量増加が著しい参加者が多かったと考えられる。以上のことから継続した身体活動量の増進運動や定期的な軽運動により下肢の筋量を維持・もしくは向上できる可能性が示された。特に 1 日の歩数を増やすことや簡易的な下肢筋トレーニングを実施することは、歩行動作における重要な筋群である膝伸筋群や足底屈筋群の強化に有効であった。

#### 4.4.2. 介入前後の下肢筋量と歩行動作との関係性

本研究では歩行速度が維持もしくは増加した参加者に限定し、ケーススタディを行った。歩行速度の変化に伴い変動する歩行指標を考慮し、下肢筋量と有意な相関があり、尚且つ歩行速度との有意な相関がない歩行指標を分析対象とした。その結果として、股関節の角速度の第1屈曲ピークやフットクリアランスのように第3章で得られた相関関係に準じた変化を示した歩行指標が多く見られた。これらは前遊脚期から遊脚中期に関する歩行指標である。前遊脚期からの下肢筋活動の特徴として、他の歩行相と比べて主動筋の活動が主となり関節運動が成立する。まず前遊脚期における膝伸筋群(大腿直筋など)の活動によって股関節の屈曲の補助や膝関節運動の制御が行われ、蹴り出し動作の一端を担っている<sup>59)75)</sup>。また遊脚初期では膝伸筋群により股関節が屈曲、膝屈筋群により膝関節が屈曲し、下肢を地面から持ち上げる<sup>59)75)80)</sup>。さらにこの時足背屈筋の求心性収縮により足関節が背屈し始め、これにより遊脚中期においてフットクリアランスが保たれる<sup>87)</sup>。このように前遊脚期から遊脚初期においては、主動筋の筋張力の発揮方向に逆らわず関節運動が行われている。対して立脚期においては、外力に対して運動の調整を行う拮抗筋の活動が主である。歩行中の関節運動を決定する要素としては主動筋の筋活動、拮抗筋の筋活動および外力による回転モーメントなどが挙げられる。これらを踏まえると遊脚期においては、他の歩行相と比べて主動筋の筋活動が下肢関節運動の決定に与える影響が比較的に大きいと予測される。そのため前遊脚期から遊脚中期における歩行指標は、下肢筋量の増加に伴う筋活動の変化の影響を受けやすいため、第3章の相関関係と同様の結果を示したと考えられる。

しかしながら第3章で得られた相関関係とは異なる変化を示した歩行指標も存在しており、それらは股関節角加速度の第1伸展ピーク時期、膝関節角度の第1屈曲ピーク時期などの荷重応答期に関するパラメータであった。特に荷重応答期は地面からの衝撃を緩和する重要な動作が行われる期間でもある。筋量の増加にもかかわらず、この期間の歩行指標が第3章と異なる変化を見せた原因としては筋量以外の要因の影響が考えられる。例えば本研究

では、日常的な歩数増加の方法であるウォーキングや自宅での軽度な下肢筋トレーニングを参加者に推奨した。これらの介入行動は骨量や心肺機能の維持、心理面の向上などの下肢筋量以外の要因にも影響を与えている<sup>84)88)</sup>。このように本研究では検討していない身体機能の向上により荷重応答期の下肢関節運動のパターンが変化している可能性も否定できない。またウォーキングは屋外で行われ、通常の歩行より速い歩調で行われる運動である。特に屋外での歩行は靴の着用により接地の衝撃緩衝のメカニズムは自由歩行時と大きく異なる<sup>89)</sup>。本研究においては、参加者に日常的なウォーキングを促しており、参加者の屋外での歩行機会が介入前と比べ増大している(表 4-4)。その結果として靴着用下での屋外歩行の習慣化の影響が筋量増大のそれを上回り、結果として衝撃緩衝作用である荷重応答期の下肢関節運動のパターンが変化した可能性も考えられる。これらのように筋量の増加以外の身体機能や運動・生活パターンの変化の影響を受けるため、第3章で得られた相関関係とは異なる傾向の変化が見られたと思われる。

#### 4.4.3. まとめ

本研究では18名の参加者に対し10週間の運動・生活介入を行い、下肢筋量および歩行動作の変化を促した。そして介入後に歩行速度が維持・向上した参加者7名を対象としたケーススタディを実施した。ケーススタディでは第3章にて確認した歩行と筋量の相関関係に対し、個人内の筋量の増大による歩行動作の変化が同様の傾向を示すかを検討した。その結果、介入後の筋量の変化に対する遊脚期中の歩行指標は第3章で得られた相関関係と同傾向の変化を示す参加者が多く、この時の歩行指標は下肢筋量の増大に併せて変化する可能性が高いと思われる。一方で、荷重応答期の歩行指標に関しては、ほとんどの参加者において第3章で得られた相関関係とは異なる傾向を示していた。これはウォーキングをはじめとする運動・生活介入によって下肢筋量以外の身体機能や運動生活習慣の変化の影響をより強く受けていたことに起因すると思われる。以上のことから第3章で得られた相関関係の一部は縦断的な研究においても同様の傾向がみられており、この結果は高齢女性の下肢筋量の増大を促すことで歩行動作の改善できる可能性を示すものである。

#### 4.4.4. 本章の限界点

本章の知見を応用し、実際の介護予防へと応用するには更なる検討が必要である。本研究の限界点としては単一の筋群のみでなく複数の筋群を同時に増大させたことが挙げられる。そのため本研究では各筋群の下肢筋量の増大に対しケーススタディを実施し、各個人内で特に変化が大きかった筋群に関連付けて、介入後の歩行と下肢筋量の変化を考察した。本来であれば強化する筋群を1つに集中し、その筋群の影響を検討することが望ましい。本研究では10週間の短期間に筋量を増大させるため複合的にトレーニングに取り組み合わせたことや対象が高齢女性であるため、一つの筋群の強化に適した高強度な筋力トレーニングを実施していない。今後の研究を進めるためにも、高齢参加者に対し1つの筋群のみを大きく増強する手法が必要である。また測定上の都合や追跡によるデータの欠損などの理由により、同

一期間内で十分な人数の参加者の計測ができず, 第3章でみられた相関関係の一部しか検討できなかったことも課題である。今後, より多くの測定データを集めることで, 本章で検討できなかった第3章の相関関係を再検討することに加え, 今回得られた結果を統計学的に検証する必要がある。



## 第5章 総括

本研究では日本人女性における下肢筋量, 歩行動作および年齢との関係性, そしてそれらの関係性が同一個人内における変化においても同様の傾向が見られるかを明らかにすることを目的とし, 3つの章を設け研究を行った。本章では各章の要点をまとめるとともに, 歩行動作, 下肢筋量および年齢との関係性, 本研究の限界, 今後の展望そして結論について述べる。

### 5.1. 各章のまとめ

高齢者の日常生活を阻害する要因の一つとしては, 身体機能の老化によって生じる歩行能力の低下が挙げられる。高齢者が身体的に自立した日常生活を送るためには, 加齢による歩行能力の低下を防止・抑制することが望ましく, その策を考えるためには歩行の加齢変化を理解することが重要である。この歩行動作への老化の影響は女性においてより深刻であると考えられることから, 第2章では86歳までの女性128名を対象に, 若年者, 中年者および高齢者の歩行動作を横断的に分析した。歩行動作は三次元動作解析システムを用いて解析し, 歩幅, 歩行速度および歩行周期などの歩行関連指標と下肢関節角度および角速度などの下肢関節運動指標を算出した。これらの歩行指標と年齢との相関係数を算出することで歩行動作への年齢の影響を検討した。その結果, 年齢は多くの歩行関連指標および下肢関節運動との間に有意な相関関係が認められた。年齢と歩行速度とは無相関であるにも関わらず, 歩幅や歩調そして蹴り出し動作に関連する下肢関節運動指標が年齢の増加とともに変化するという知見が得られた(図 2-8, 図 2-9 および図 2-10)。

これらの年齢と相関関係にあった歩行動作の加齢変化は, 加齢による筋肉の減弱などの身体機能の低下に起因している。特に年齢との相関が高かった立脚終期から遊脚初期にか

けての下肢関節運動は大腿部や下腿部の筋群の活動によって成立する。従って各関節運動に関わる大腿部および下腿部の筋評価を併せて行うことで加齢による歩行動作の変化をより高次的に理解できると考えられる。これらを踏まえ、第3章では下肢機能の評価の一つである筋量評価に着目し、若年者から高齢者を対象に下肢筋量と歩行動作および年齢との関係性を検討する。対象としたのは前章と同じく86歳までの女性124名であり、これらの参加者に超音波画像診断装置を用いた大腿部および下腿部の筋横断面積の測定を実施した。また第2章の歩行解析に加え、下肢関節角加速度、各関節運動のピーク出現時期およびフットクリアランスを算出した。そして女性における下肢筋量と歩行指標との相関係数を算出した。また歩行老化の加速の要因となるような、高齢期において大きく変動する歩行指標がある可能性を考慮し65-75歳の高齢群を対象とした時の下肢筋量と歩行指標間の相関係数の算出も行った。その結果、下肢筋量は歩幅や歩調などの歩行関連指標(図3-4~図3-9)や下肢関節運動(図3-10~図3-13)との有意な相関が認められた。特に蹴り出し付近の足関節運動などが全ての筋群の筋量と有意な相関関係があり、下肢筋群の筋量が大きいほど足関節の底屈運動が増大することが示された。また高齢群は全年齢群と比較し下肢筋量との間に有意な相関関係を示す歩行指標は少なかったもの、関節角加速度やそのピーク時期といった歩行指標が高齢者の下腿部の筋量と強い関係性がある可能性が示された(図3-18)。これらのことから、歩行指標における加齢変化の一部が下肢筋量の加齢性の減少によって説明できる可能性がある。

しかしながら、これらの相関関係は広い年齢層の女性のデータを横断的に分析したものであり、個人の下肢筋量の増減に対する歩行動作の変化においても、同様あるいは類似した傾向が見られるかを縦断的に追及する必要がある。そこで第4章ではいままでの章で得られた相関関係が実際の個人での下肢筋量の増大による歩行動作の変化と同様の傾向が見られるかを検討した。18名の高齢女性に対し10週間の運動・生活介入を行い、介入後に歩行速度が維持もしくは増加した参加者7名を対象に介入前後の下肢筋量および歩行動作の変

化を分析しケーススタディを実施した。ケーススタディでは第 3 章にて確認した歩行と筋量の相関関係に対し、個人内の筋量の増大による歩行動作の変化が異なるか否かを確認した。対象とした歩行指標は下肢筋量との有意な相関関係があり、歩行速度との有意な相関がないもの限定した(表 4-3)。介入後の下肢筋量は全ての参加者で増加しており、減少した者はいなかった。そのため対象者の介入後の各筋群の増加率をもとに、膝伸筋群、膝屈筋群、足背屈筋群、および足底屈筋群がそれぞれ大きく増加した参加者に着目し検討を進めた。介入後の下肢筋量と歩行動作の変化を併せてみると、蹴り出し期や遊脚期中の歩行指標は、第 3 章の相関関係と同傾向の変化を示す参加者が多かった。一方で荷重応答期の歩行指標に関しては、下肢筋量の増大以外の要因が強く影響したのか、ほとんどの参加者において第 3 章で得られた相関関係とは異なる傾向を示していた。これらの結果をまとめると第 3 章で得られた相関関係の一部は下肢筋量増大に対する歩行動作の変化と類似した傾向があり、この結果は高齢女性の下肢筋量の増大を促すことで歩行動作の改善できる可能性を提示している。

## 5.2. 歩行動作、下肢筋量および年齢との関係性

本論文の研究をまとめると、大腿部、下腿部の筋量および年齢は多くの歩行関連指標(歩幅や歩調など)や下肢関節運動指標(関節角度や関節運動のピーク出現時期など)との有意な相関関係を示した。この相関関係の強さは下肢筋群と歩行指標の組み合わせに応じて異なっていたが、中でも蹴り出し動作に関わる歩行指標は年齢および下肢筋量との間において特に高い相関係数を示した。年齢が高く下肢筋量が小さいほど、この時の股関節の伸展運動および膝関節の屈曲運動が向上し、足関節の底屈運動は退行していたことから、加齢に伴う下肢筋量の減少はこれらの蹴り出し動作に関わる下肢関節運動の変化の一因であると予測される。また、蹴り出し動作には大腿部および下腿部の複数の筋群の筋活動が関与しており<sup>59)75)</sup>、この時に生じる運動エネルギーは推進力の起点となるなど<sup>81)</sup>、蹴り出し動作は他

の歩行中の動作と比較しても特に重要な運動であると思われる。一方で年齢や下肢筋量との相関がより強い歩行指標ほど、より高い精度で歩行動作の老化度や下肢筋量による歩行動作の推定が可能であると予測される。そのため蹴り出し動作に関わる歩行指標は特に介護予防への応用性が高い重要な指標だと思われる。しかしながら第 4 章では歩行速度の影響を考慮し対象とした歩行指標を限定したことから、同一個人における蹴り出し動作に関わる歩行指標の変化を検討できなかった。荷重応答期に対して遊脚期の歩行指標は第 3 章の結果と同様の傾向を示したものが多く、これは遊脚期における下肢関節運動が主動筋の活動が主となり成立することに起因すると思われる。この第 4 章の考察を踏まえると、蹴り出し動作に関連する歩行指標においても同様に筋量の増大に対応した変化を示す可能性は高い。従って同一個人における各下肢筋群の増加に対応する蹴り出し動作の変化を検討する価値は大いにある。

### 5.3. 本研究の知見の応用性

本研究の知見を踏まえると、荷重応答期や蹴り出し動作以降の歩行パラメータは、他の指標と比べ年齢や下肢筋量と強い相関関係にある可能性が高い。この結果は、これらの期間の歩行パラメータが下肢筋量ひいては歩行老化と強く関連するパラメータであることを示している。すなわち、これらの老化に関連するパラメータは日本人女性における歩行動作の老化の進行度の評価指標としての応用が期待できる。個人の歩行老化を早期的に発見することができれば、筋量の低下が深刻化する前に下肢筋力トレーニングなどの対策を講じることが可能になる。

また同一個人内においても各歩行指標の変化に対応する下肢筋群の部位が示されたことも本研究の知見の一つである。例えばフットクリアランスは転倒と関係する重要なパラメータであり<sup>82)90)</sup>、この指標の変化は下腿部の筋群である足背屈筋群の変化と関連していた。本研究のサンプルサイズを考慮すると断定することは難しいが、各歩行指標に対応する下

肢筋群の部位が示されたことは、効率よく歩行中の動作を改善するという観点においては重要な知見である。この知見の応用が進めば、各個人における老化した動作のみを効率よく改善する筋トレニング法の提案などが期待できる。

#### 5.4. 本研究の限界

このように本研究で得られた下肢筋量、年齢および歩行動作との関係性は、高齢者の歩行能力の低下を防止するための重要な知見になりうる。しかしながら本研究においてはいくつかの限界点がある。

本研究では、多人数の幅広い年齢層の歩行データを解析するために老化の影響がより大きいと推測される女性に限定しており、男性に関しても本研究と同様の傾向を示すかは検討の余地がある。また歩行動作の老化は身体機能の老化に起因し、この身体機能の老化は30歳代つまり中年層から進行する<sup>16)</sup>。参加者の年齢層に着目すると30-50歳の中年層は比較的にデータが少なく、歩行の老化の過程(どの動作がどの時期にどのように変化するか)に関する詳細を解明するには至らなかった。

そして本研究では下肢筋量と歩行動作との関係性に関して、歩行動作中の下肢筋群の役割をもとに考察を進めた。歩行中には下肢の各筋群が異なるタイミングで複合的に活動する。そのため、各筋群が直接的に支配する関節運動以外にも関連がみられた組み合わせが存在した。これらの関連は、異なる歩行相における筋活動が別の歩行相の下肢関節運動にも影響を与えることに起因すると考えられる。しかしながら本研究の結果から下肢筋量の増大が各歩行相の筋群の活動にどのような影響を与えたかを断定することは難しい。各筋群の筋量の変化が歩行動作に与える影響を解明するには歩行動作中の各筋群の活動を記録し、併せて検討する必要がある。

## 5.5. 今後の展望

このように本研究における知見にはいくつかの限界がある。そのため、本章の知見を応用し、自立歩行支援をはじめとする介護予防へと応用するには更なる検討が必要であり、本研究の知見および限界点を踏まえて今後の研究の展望について述べる。

まず第2章および第3章のデータにて不足している男性ならびに女性中年層のデータを集中的に集めることで必要である。これらのデータを集めることで歩行動作や下肢筋量の加齢変化がどのような過程で進行するか、またそれらが男女でどのように異なるかを検討することが可能となる。歩行動作と下肢筋量との関係性がより詳細に明らかになることで、男女別の下肢筋量や歩行動作の年代別標準値や中年年齢層に向けた早期的な歩行老化対策案の提案などの自立歩行支援を目的とした介護予防が実現すると思われる。

そして従来の歩行動作の測定に加え、歩行動作中の大腿部および下腿部の筋活動の評価を行うことも必要である。歩行動作中の筋活動の評価を併せて行うことで、どの筋群がどのように歩行中の各運動に影響を与えているかが詳細に把握できるようになる。それにより、各筋群の筋量とそれらが直接的に関与しない関節運動との間の関係性をより正確に理解できると予測される。特に4章では第2章、第3章でみられた相関関係に対して、異なる傾向を示した歩行指標も少なくない。介入後の下肢筋量の増大によってどのように歩行中の筋活動が変化するかを明らかにできれば、第2および第3章で得られた相関関係と異なる傾向を示した歩行指標の変化を説明できる可能性もある。これらの課題を解決できれば、歩行動作、下肢筋量および年齢との関係性をより詳細かつ正確に理解することが可能となり、介護予防を目的とした多くの自立歩行支援策の提案が可能になる。

## 5.6. 結論

本論文では日本人女性における下肢筋量, 歩行動作および年齢との関係性, そしてそれらの関係性が同一個人内における変化においても同様の傾向が見られるかを検討した。日本人女性約 120 名を対象とした横断的な分析により, 年齢および下肢筋量と相関関係にある歩行指標が探索された。またそれらの相関関係は, 同一個人内の変化においても同様の傾向を示すものがあり, 特定の下肢筋群の筋量増加に応じて変化する歩行パラメータが存在した。これらの知見は, 歩行老化を判断するパラメータの提案や各個人に適した歩行老化防止を目的とした筋トレーニングの提案などの新しい介護予防策へと応用が期待できると考えられる。

## 謝辞

九州大学大学院芸術工学府芸術工学専攻に進学し、各研究分野を牽引する先生方、熱心に研究を遂行・実践する先輩方や後輩の皆様に囲まれ、研究者として素晴らしい日常を過ごすことができました。進学から考えると5年もの月日を要してしまいましたが皆様のご協力のおかげで遂に学位論文を提出することができました。思うように論文執筆が進まず挫けかけましたが、日々研究を実践し、楽しそうに研究に取り組む皆様を見て、活力を取り戻せ筆を進めることができました。論文執筆を完遂できたのも偏に皆様の支えがあったからこそだと強く痛感しています。

九州大学大学院芸術工学研究院の村木里志教授には指導教員として7年、学部時代から考えると10年間に渡り研究者としての姿勢やあり方を熱心にそして丁寧にご指導頂きました。また本論文の執筆に至っては、研究の計画から実践までの幾度となく、的確かつ丁寧なご指摘・ご助言を頂きました。村木里志教授から賜りました熱心で丁寧なご指導、そしてご支援に本当に深謝申し上げます。同研究院の前田享史教授には、副査として本論文の細部にわたりご指導・ご助言頂くとともに、同分野の先生として日々の研究の進捗を気遣って頂きました。岡山県立大学情報工学部の齋藤誠二准教授には、副査として、また同分野である歩行研究を牽引する研究者としての的確かつ貴重なご助言およびご指導を賜りました。本論文の査読を担当し、貴重なご指摘・ご助言をくださった先生方に厚く感謝申し上げます。佐賀大学理工学部の福田修教授、静岡大学工学部の福元清剛助教には、研究室に所属した学部4年生の頃より筋量計測のご支援及びご指導を頂きましたことを深く感謝申し上げます。九州大学大学院芸術工学研究院のPing Yeap Loh助教、徳山工業高等専門学校の前野直士助教には同門の先輩として、博士論文執筆・発表に当たり、貴重なご助言・ご指摘を頂きましたことを深く感謝申し上げます。NPO法人cocofull代表理事の下釜純子様には運動指導士として運動教室の開催にご協力いただき、参加者の皆様が笑顔で健やかに健康運動を実践していくことができました、深く感謝を申し上げます。本研究における下肢



筋量・歩行測定に参加して下さった実験参加者様及び運動教室や日々の健康増進運動を実践して下さった参加者皆様のご協力のおかげで介護予防につながる貴重なデータを取得することができました, 参加者皆様のご協力を深く感謝申し上げます。

福祉人間工学研究室の先輩方並びに後輩の皆様には同分野を共に実践する研究者として関心深い研究の話題を提供頂くなどの日々の活力を頂きました。また人間工学講座の先輩方並びに学生の皆様には多様な分野の研究活動に触れさせて頂くなど, 日頃より有益なご討論ご助言を頂きました。日々の研究活動をより一層充実させて頂いた皆様に感謝申し上げます。

そして本論文の執筆に当たり, 論文執筆が滞り, 活力を失いかけた私を陰ながら支えてくれた両親や弟に感謝します。

最後に, 様々な方のご指導・ご支援のおかげで, 本研究を遂行することができました。本論文を終えるに当たり, 深謝の意を示すとともに, 重ねて厚く御礼申し上げます。

2019年8月7日

中島弘貴

## 引用・参考文献

- 1) 平成30年度版高齢社会白書(全体版):第1節 高齢化の現状と将来像. 内閣府. 2-3, 2018.
- 2) 平成30年度版高齢社会白書(全体版):第2節 高齢期の暮らしの動向. 内閣府. 30-31, 2018.
- 3) 平成25年版高齢社会白書(概要). 内閣府. 18-20, 2013.
- 4) 厚生労働省. 健康日本21(総論).
- 5) 平成28年度版高齢社会白書. 厚生労働省. 19-23, 2017.
- 6) 平成29年版高齢社会白書(概要版):第2節 高齢者の姿と取り巻く環境の現状と動向. 内閣府. 17, 2017.
- 7) 宮原洋八, 竹下寿郎. 地域高齢者における運動能力と健康寿命の関連について. 理学療法学, 31(3): 155-159, 2004.
- 8) Graafmans WC, Ooms ME, Hofstee HMA, Bezemer PD, Bouter LM, Lips P. Falls in the elderly: a prospective study of risk factors and risk profiles. Am J Epidemiol, 143(11): 1129-1136, 1996.
- 9) 江藤文夫. 高齢者の転倒と骨折のとらえかた-転倒と転倒後症候群. 総合ケア, 12(12): 6-12, 2002.
- 10) 三石洋一. 高齢者の危険選択-老年症候群を中心に-. 日本保険医学会誌, 103(1): 18-29, 2005.
- 11) Steffen TM, Hacker TA, Mollinger L. Age- and gender-related test performance in community-dwelling elderly people: six-minute walk test, berg balance scale, timed up & go test, and gait speeds. Phys Ther, 82(2): 128-137, 2002.

- 12) 杉浦美穂, 長崎浩, 古名丈人, 奥住秀之. 地域高齢者の歩行能力-4年間の縦断変化-. 体力科学, 47(4): 443-452, 1998.
- 13) 植松光俊, 塩中雅博, 江西一成. 高齢者の歩行特性. 理学療法, 18(4): 382-392, 2001.
- 14) Bohannon RW. Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20-79 years: reference values and determinants. Age Ageing, 26(1): 15-19, 1997.
- 15) Afiah IN, Nakashima H, Loh PY, Muraki S. An exploratory investigation of changes in gait parameters with age in elderly Japanese women. Springerplus, 5(1): 1069, 2016.
- 16) 衣笠隆, 長崎浩, 伊東元, 橋詰謙, 古名丈人, 丸山仁司. 男性(18~83歳)を対象にした運動能力の加齢変化の研究. 体力科学, 43(5): 343-351, 1994.
- 17) 浅川康吉, 池添冬芽, 羽崎完, 黒木裕士, 河野一郎, 神先秀人. 高齢者における下肢筋力と起居・移動動作能力の関連性. 理学療法学, 24(4): 248-253, 1997.
- 18) Anderson DE, Madigan ML. Healthy older adults have insufficient hip range of motion and plantar flexor strength to walk like healthy young adults. J Biomech, 47(5): 1104-1109, 2014.
- 19) 田井中幸司, 青木純一郎. 在宅高齢女性の転倒経験と体力. 体力科学, 56(2): 279-285, 2007.
- 20) 坂田悍教. 地域在住高齢者の歩行能力に関する横断的・縦断的分析. 医学のあゆみ, 236(5): 339-344, 2011.
- 21) 猪飼哲夫, 辰濃尚, 宮野佐年. 歩行能力とバランス機能の関係. リハビリテーション医学, 43(12): 828-833, 2006.

- 22) Oberg T, Karsznia A, Oberg K. Joint angle parameters in gait: Reference data for normal subjects, 10-79 years of age. *J Rehabil Res Dev*, 31(3): 199-213, 1994.
- 23) Silder A, Heiderscheit B, Thelen DG. Active and passive contributions to joint kinetics during walking in older adults. *J Biomech*, 41(7): 1520-1527, 2008.
- 24) Mills PM, Barrett RS. Swing phase mechanics of healthy young and elderly men. *Hum Mov Sci*, 20(4-5): 427-446, 2001.
- 25) Bassey EJ, Bendall MJ, Pearson M. Muscle strength in the triceps surae and objectively measured customary walking activity in men and women over 65 years of age. *Clin Sci (Lond)*, 74(1): 85-89, 1988.
- 26) 村木重之. 筋力と筋量の経年的変化および運動器疾患との関連. *医学のあゆみ*, 236(5): 470-474, 2011.
- 27) Bok SK, Lee TH, Lee SS. The effects of changes of ankle strength and range of motion according to aging on balance. *Ann Rehabil Med*, 37(1): 10-16, 2013.
- 28) 田井中幸司, 青木純一郎. 高齢女性の歩行速度の低下と体力. *体力科学*, 51(2): 245-251, 2002.
- 29) 眞竹昭宏, 三浦由紀子, 福元清剛. 中高年女性の下肢筋群の筋量および筋力と歩行速度との関係. *山口県立大学看護学部紀要*, 11: 1-6, 2007.
- 30) Frontera W, Hughes V, Fielding R, Fiatarone M, Evans W, Roubenoff R. Aging of skeletal muscle: a 12-yr longitudinal study. *J Appl Physiol*, 88(4): 1321-1326, 2000.
- 31) 宮谷昌枝, 東香寿美, 金久博昭, 久野譜也, 福永哲夫. 下肢筋厚における加齢変化の部

- 位差および性差-20歳代と70歳代の比較-. 体力科学, 52(Suppl): 133-140, 2003.
- 32) 田中正昭, 山田道廣, 山口洋一, 真島東一郎. 健常者における大腿筋断面積の検討-加齢による変化-. 理学療法科学, 11(2): 75-79, 1996.
- 33) Overend TJ, Cunningham DA, Paterson DH, Lefcoe MS. Thigh composition in young and elderly men determined by computed tomography. Clin Physiol, 12(6): 629-640, 1992.
- 34) Young A, Stokes M, Crowe M. Size and strength of the quadriceps muscles of old and young women. Eur J Clin Invest, 14(4): 282-287, 1984.
- 35) 後藤尚子, 佐藤広徳, 福場良之. 高齢女性における歩行能力と下腿部筋量の関連性. 体力科学, 52(6): 945, 2003.
- 36) 金俊東, 久野譜也, 相馬りか, 増田和実, 足立和隆, 西嶋尚彦, 石津政雄, 岡田守彦. 加齢による下肢筋量の低下が歩行能力に及ぼす影響. 体力科学, 49(5): 589-596, 2000.
- 37) 池永昌弘, 山田陽介, 三原里佳子, 吉田智恵, 藤井慶輔, 森村和浩, 平野雅巳, 江西浩一郎, 進藤宗洋, 清永明. 中敷に重量負荷した靴の運動介入が高齢者の下肢筋量および歩容に及ぼす影響. 体力科学, 61(5): 469-477, 2012.
- 38) 新井武志, 大淵修一, 柴喜崇, 島田裕之, 後藤寛司, 大福幸子, 二見俊郎. 高負荷レジスタンストレーニングを中心とした運動プログラムに対する虚弱高齢者の身体機能改善効果とそれに影響する身体・体力諸要素の検討. 理学療法学, 30(7): 377-385, 2003.
- 39) 上出直人, 大淵修一, 柴喜崇. 歩行トレーニング装置が地域在住高齢者の運動機能に及ぼす影響について-両側分離型トレッドミルを用いたトレーニング装置-. 理学療法学, 30(7): 421-427, 2003.

- 40) 平瀬達也, 井口茂, 中原和美, 松坂誠應. 在宅虚弱高齢者に対する異なる運動介入が身体機能に及ぼす経時的变化について. 理学療法科学, 26(1): 1-5, 2011.
- 41) Goodpaster BH, Park SW, Harris TB, Kritchevsky SB, Nevitt M, Schwartz AV lean mass, Simonsick EM, Tylavsky F a, Visser M, Newman AB. The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: the health, aging and body composition study. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 61(10): 1059-1064, 2006.
- 42) Dey DK, Bosaeus I, Lissner L, Steen B. Changes in body composition and its relation to muscle strength in 75-year-old men and women: a 5-year prospective follow-up study of the NORA cohort in Göteborg, Sweden. Nutrition, 25(6): 613-619, 2009.
- 43) Frimenko R, Goodyear C, Bruening D. Interactions of sex and aging on spatiotemporal metrics in non-pathological gait: a descriptive meta-analysis. Physiotherapy, 101(3): 266-272, 2015.
- 44) Oberg T, Karsznia A, Oberg K. Basic gait parameters: reference data for normal subjects, 10-79 years of age. J Rehabil Res Dev, 30(2): 210-223, 1993.
- 45) Chumanov ES, Wall-Scheffler C, Heiderscheidt BC. Gender differences in walking and running on level and inclined surfaces. Clin Biomech, 23(10): 1260-1268, 2008.
- 46) Callisaya ML, Blizzard L, Schmidt MD, McGinley JL, Srikanth VK. Sex modifies the relationship between age and gait: a population-based study of older adults. Journals Gerontol Ser A Biol Sci Med Sci, 63(2): 165-170, 2008.
- 47) Doyo W, Kozakai R, Kim H-Y, Ando F, Shimokata H. Spatiotemporal components of the 3-D gait analysis of community-dwelling middle-aged and elderly Japanese:

- Age- and sex-related differences. *Geriatr Gerontol Int*, 11(1): 39-49, 2011.
- 48) Kim WS, Kim EY. Comparing self-selected speed walking of the elderly with self-selected slow, moderate, and fast speed walking of young adults. *Ann Rehabil Med*, 38(1): 101-108, 2014.
- 49) Boyer KA, Andriacchi TP, Beaupre GS. The role of physical activity in changes in walking mechanics with age. *Gait Posture*, 36(1): 149-153, 2012.
- 50) 山崎信寿. 自由歩行における歩調 歩幅の生体力学的決定基準. *バイオメカニズム*, 11: 179-190, 1992.
- 51) Cofré LE, Lythgo N, Morgan D, Galea MP. Aging modifies joint power and work when gait speeds are matched. *Gait Posture*, 33(3): 484-489, 2011.
- 52) DeVita P, Hortobagyi T. Age causes a redistribution of joint torques and powers during gait. *J Appl Physiol*, 88(5): 1804-1811, 2000.
- 53) Saibene F, Minetti AE. Biomechanical and physiological aspects of legged locomotion in humans. *Eur J Appl Physiol*, 88(4-5): 297-316, 2003.
- 54) Bruening DA, Frimenko RE, Goodyear CD, Bowden DR, Fullenkamp AM. Sex differences in whole body gait kinematics at preferred speeds. *Gait Posture*, 41(2): 540-545, 2015.
- 55) Ko S, Tolea MI, Hausdorff JM, Ferrucci L. Sex-specific differences in gait patterns of healthy older adults: Results from the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *J Biomech*, 44(10): 1974-1979, 2011.
- 56) Sadeghi H, Prince F, Zabjek KF, Sadeghi S, Labelle H. Knee flexors/extensors in gait of elderly and young able-bodied men (II). *Knee*, 9(1): 55-63, 2002.

- 57) Neptune RR, Kautz SA, Zajac FE. Contributions of the individual ankle plantar flexors to support, forward progression and swing initiation during walking. *J Biomech*, 34(11): 1387-1398, 2001.
- 58) Hurley M V, Rees J, Newham DJ. Quadriceps function, proprioceptive acuity and functional performance in healthy young, middle-aged and elderly subjects. *Age Ageing*, 27(1): 55-62, 1998.
- 59) Perry J, Burnfield JM. ペリー 歩行分析 正常歩行と異常歩行 第4章 足関節-足部複合体. 原著第2版. 武田功, 弓岡光徳, 森彩子, 村田伸. 医歯薬出版株式会社, 32-56, 2012.
- 60) 村木里志, 福元清剛, 福田修. 日本人成人を対象とした仰臥位時における大腿前面筋厚の年齢別標準値の提案. *障害者スポーツ科学*, 10(1): 45-53, 2012.
- 61) Noorkoiv M, Nosaka K, Blazevich AJ. Assessment of quadriceps muscle cross-sectional area by ultrasound extended-field-of-view imaging. *Eur J Appl Physiol*, 109(4): 631-639, 2010.
- 62) Fukumoto K, Fukuda O, Tsubai M, Muraki S. Development of a flexible system for measuring muscle area using ultrasonography. *IEEE Trans Biomed Eng*, 58(5): 1147-1155, 2011.
- 63) 佐藤広徳, 三浦朗, 佐藤美紀子, 佐藤陽彦, 福場良之. 日本人成人男女259名における大腿部筋群横断面積と筋力の年齢変化について. *体力科学*, 48(3): 353-364, 1999.
- 64) Ishiuchi M, Fukumoto K, Muraki S, Fukuda O. A proposal for a standard value of muscle cross-sectional area of the thigh in Japanese adults. In: Shih Y-C, Liang S-FM, Huang Y-H, Lin Y-C, Lin C-L, editors. *Proceeding of EAEFS2011*, Hsinchu, Taiwan: 241-246, 2012.



- 65) 近藤克則, 太田正. 脳卒中早期リハビリテーション患者の下肢筋断面積の経時的変化: 廃用性筋萎縮と回復経過. リハビリテーション医学, 34(2): 129-133, 1997.
- 66) Fukumoto K, Muraki S, Tsubai M, Fukuda O. Calibration of cross-sectional images measured by an ultrasound-based muscle evaluation system. Proceeding of EMBC2009, Minneapolis, USA: 432-435, 2009.
- 67) 山田陽介, 木村みさか, 中村榮太郎, 増尾善久, 小田伸午. 15~97歳日本人男女1006名における体肢筋量と筋量分布. 体力科学, 56(5): 461-471, 2007.
- 68) Canda A. Stature estimation from body segment lengths in young adults- application to people with physical disabilities. J Physiol Anthropol, 28(2): 71-82, 2009.
- 69) 小野晃, 琉子友男. 高齢者における下肢筋厚および筋力が動的バランスに及ぼす影響. 日本生理人類学会誌, 6(1): 17-22, 2001.
- 70) Larsson L, Grimby G, Karlsson J. Muscle strength and speed of movement in relation to age and muscle morphology. J Appl Physiol, 46(3): 451-456, 1979.
- 71) Aniansson A, Hedberg M, Henning G - B, Grimby G. Muscle morphology, enzymatic activity, and muscle strength in elderly men: A follow - up study. Muscle Nerve, 9(7): 585-591, 1986.
- 72) Janssen I, Heymsfield SB, Wang ZM, Ross R. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. J Appl Physiol, 89(1): 81-88, 2000.
- 73) 沢井史穂, 実松寛之, 金久博昭, 角田直也, 福永哲夫. 日常生活動作における身体各部位の筋活動水準の評価: 姿勢保持・姿勢変換・体重移動動作について. 体力科学, 53(1): 93-105, 2004.

- 74) 田中千晶. 地域高齢者における身体活動量と身体, 心理, 社会的要因との関連. 日本公衆衛生, 53(9): 671, 2006.
- 75) Berger W, Altenmueller E, Dietz V. Normal and impaired development of children' s gait. Hum Neurobiol, 3(3): 163-170, 1984.
- 76) Andersson EA, Nilsson J, Thorstensson A. Intramuscular EMG from the hip flexor muscles during human locomotion. Acta Physiol Scand, 161: 361-370, 1997.
- 77) 西島吉典, 加藤達雄, 中川宏, 吉澤正尹, 宮下充正. 中高齢者にみられる平地歩行中の歩容ならびに筋活動特性. ウォーキング研究, (9): 89-94, 2005.
- 78) 江原義弘, 山本澄子, 石井慎一郎. 基礎バイオメカニクス. 131-133, 2010.
- 79) 安藤徳彦. 下肢筋の機能解剖と歩行. 日本技師装具学会誌, 15(3): 213-218, 1999.
- 80) Perry J, Burnfield JM. Chapter 5 Knee, Gait analysis: normal and pathological function. 2nd ed. SLACK Incorporated, USA, 85-100, 2010.
- 81) Perry J, Burnfield JM. Chapter 9 Total limb function and bilateral synergistic relationships, Gait analysis: normal and pathological function. 2nd ed. SLACK Incorporated, USA, 137-160, 2010.
- 82) 西澤哲, 長崎浩, 古名丈人, 奥住秀之, 杉浦美穂, 伊東元, 藤田祐樹. 地域高齢者を対象にした歩行時のフットクリアランスに関する研究(1部 生体の計測). バイオメカニズム, (14): 69-79, 1998.
- 83) 霍明, 常冬梅, 丸山仁司. 高齢者における転倒予測に関する研究 —足踏みプローブ反応時間を中心として—. 理学療法科学, 22(3): 359-364, 2007.
- 84) 村田伸, 村田潤, 大田尾浩, 松永秀俊, 大山美智江, 豊田謙二. 地域在住高齢者の身体・認知・心理機能に及ぼすウォーキング介入の効果判定. 理学療法科学, 24(4):

- 509-515, 2009.
- 85) 伊東元, 田中繁, 岩崎富子, 山田道廣, 岩倉博光. 筋活動からみた膝関節機能評価-第2部 若年者と比較した老年者の特徴. *リハビリテーション医学*, 19(3): 159-164, 1982.
- 86) 新井智之, 栞原慶太, 目黒智康, 渡辺学, 藤田博暁. 地域在住高齢者におけるウォーキングの実施率と運動機能との関連. *理学療法科学*, 26(5): 655-659, 2011.
- 87) 相馬正之. 歩行時のToe clearanceと足趾把持力について-転倒予防の観点から. *ヘルスプロモーション理学療法研究*, 6(1): 1-7, 2016.
- 88) 小池亜紀子, 中原凱文. 低強度の筋力トレーニングが若年女性の骨量変化に及ぼす影響. *体力科学*, 61(2): 221-225, 2012.
- 89) Von Tscharnner V, Goepfert B, Nigg BM. Changes in EMG signals for the muscle tibialis anterior while running barefoot or with shoes resolved by non-linearly scaled wavelets. *J Biomech*, 36(8): 1169-1176, 2003.
- 90) Nagano H, Sparrow WA, Begg RK. Can toe-ground footwear margin alter swing-foot ground clearance? *Gait Posture*, 42(2): 214-217, 2015.

## 付図

図 2-1	被験者の年齢分布	11
図 2-2	マーカの装着部位	13
図 2-3	歩行路	14
図 2-4	時間因子・距離因子の図解	16
図 2-5	矢状面における関節角の定義	17
図 2-6	下肢関節角度の経時変化ならびに算出値	18
図 2-7	下肢関節角速度の経時変化ならびに算出値	18
図 2-8	年齢と歩行指標との関係性 (n=128)	22
図 2-9	年齢と下肢関節角度との関係性 (n=128)	24
図 2-10	下肢関節角速度と年齢との関係性 (n=128)	25
図 3-1	下肢関節角加速度の経時変化ならびに算出値	34
図 3-2	1 歩行周期におけるつま先挙上高の経時変化と算出値	34
図 3-3	超音波筋横断面積計測システムの概要	37
図 3-4	大腿部の筋量指数と歩幅との関係性 (n=124)	42
図 3-5	大腿総筋および膝伸筋群と遊脚期時間との関係性 (n=124)	43
図 3-6	大腿総筋および膝伸筋群と歩調との関係性 (n=124)	43
図 3-7	下腿総筋および足底屈筋群の筋量指数と歩幅との関係性 (n=111)	45
図 3-8	下腿部の筋量指数と立脚期率との関係性 (n=111)	46
図 3-9	下腿総筋および足背屈筋群の筋量指数と遊脚期率との関係性 (n=111)	47
図 3-10	大腿部の筋量指数と足関節角速度の第 1 底屈ピークとの相関関係 (n=124)	50
図 3-11	大腿部の筋量指数と足関節角加速度の第 2 背屈ピークとの相関関係 (n=124)	51

図 3-12	下腿部の筋量指数と足関節角速度の第 1 底屈ピークとの相関関係 (n=111) .....	56
図 3-13	下腿部の筋量指数と足関節角加速度の第 2 背屈ピークとの相関関係 (n=111) ...	57
図 3-14	下腿総筋および足底屈筋群の筋量指数と歩幅との関係性 (n=41) .....	65
図 3-15	下腿総筋の筋量指数と立脚期率および遊脚期率との関係性 (n=41) .....	65
図 3-16	下腿総筋および足底屈筋群の筋量指数と歩行速度との関係性 (n=41) .....	66
図 3-17	下腿部の筋量指数と歩幅/身長との関係性 (n=41) .....	67
図 3-18	下腿総筋および足背屈筋群の筋量指数と足関節角加速度の第 2 背屈ピークとの関係性 (n=41) .....	74
図 4-1	Timed Up and Go Test.....	91
図 4-2	ボールと椅子を用いた運動教室の様子.....	92
図 4-3	大腿部および下腿部のトレーニングを記載した資料.....	94
図 4-4	対象とした歩行指標について(図中の数字は表 4-3 と対応) .....	100
図 4-5	介入後の 1 日当たりの歩数の変化 (1 週間ごとの平均値) .....	101

## 付表

表 2-1	歩行指標 .....	15
表 2-2	被験者の身体特性 (平均値±標準偏差) .....	20
表 2-3	年齢と身体特性との相関係数 (n=128) .....	20
表 2-4	年齢と体格および歩行関連指標との相関係数 (n=128) .....	21
表 2-5	年齢と下肢関節運動指標との相関係数 (n=128) .....	24
表 3-1	被験者の身体特性 (平均値±標準偏差) .....	39
表 3-2	全年齢群における年齢と大腿部の筋量指数との相関係数 (n=124) .....	40
表 3-3	全年齢群における年齢と下腿部の筋量指数との相関係数 (n=111) .....	40
表 3-4	全年齢群における大腿部の筋量指数と歩行関連指標との相関係数 (n=124) .....	41
表 3-5	全年齢群における下腿部の筋量指数と歩行関連指標との相関係数 (n=111) .....	44
表 3-6	全年齢群の大腿部の筋量指数と下肢関節運動との相関係数 (n=124) .....	49
表 3-7	全年齢群の大腿部の筋量指数と下肢関節運動のピーク時期との相関係数 (n=124) .....	53
表 3-8	全年齢群の下腿部の筋量指数と下肢関節運動との相関係数 (n=111) .....	55
表 3-9	全年齢群の下腿部の筋量指数と下肢関節運動のピーク時期との相関係数 (n=111) .....	59
表 3-10	全年齢群における大腿部の筋量指数とフットクリアランスとの相関係数 (n=124) .....	60
表 3-11	全年齢群における下腿部の筋量指数とフットクリアランスとの相関係数 (n=111) .....	61
表 3-12	高齢群における年齢と大腿部の筋量指数との相関係数 (n=41) .....	62
表 3-13	高齢群における年齢と下腿部の筋量指数との相関係数 (n=41) .....	62
表 3-14	高齢群における大腿部の筋量指数と歩行関連指標との相関係数 (n=41) .....	63
表 3-15	高齢群における下腿部の筋量指数と歩行関連指標との相関係数 (n=41) .....	64
表 3-16	高齢群の大腿部の筋量指数と下肢関節運動との相関係数 (n=41) .....	69

表 3-17	高齢群の大腿部の筋量指数と下肢関節運動のピーク時期との相関係数 (n=41) ..	71
表 3-18	高齢群の下腿部の筋量指数と下肢関節運動との相関係数 (n=41) .....	73
表 3-19	高齢群の下腿部の筋量指数と下肢関節運動のピーク時期との相関係数 (n=41) ..	76
表 3-20	高齢群における大腿部の筋量指数とフットクリアランスとの相関係数 (n=41) ..	77
表 3-21	高齢群における下腿部の筋量指数とフットクリアランスとの相関係数 (n=41) ..	77
表 3-22	相関関係が示された歩行関連指標および下肢関節運動指標.....	86
表 3-23	下肢筋量と有意な相関関係にある追加解析指標およびその年齢との相関係数...	87
表 3-24	高齢群の下肢筋量と有意な相関を示した歩行指標およびその年齢との相関係数 .	88
表 4-1	介入前後の下肢筋量指数およびその変化率.....	97
表 4-2	介入前後の TUG スコアおよび歩行速度の変化.....	98
表 4-3	筋量と有意な相関を示した歩行指標と歩行速度との関係性.....	99
表 4-4	介入1週目と介入9週目の1日当たりの平均歩数の変化.....	101
表 4-5	介入前後の股関節角速度 第1 屈曲ピーク時期.....	102
表 4-6	介入前後の股関節角加速度の第1 伸展ピーク時期.....	103
表 4-7	介入前後の膝関節角度第1 屈曲ピーク時期.....	104
表 4-8	介入前後の膝関節角加速度第1 伸展ピーク時期.....	105
表 4-9	介入前後の足関節角度第1 底屈ピーク時期.....	106
表 4-10	介入前後の足関節角加速度第1 背屈ピーク時期.....	107
表 4-11	介入前後の足関節角加速度第2 背屈ピーク.....	108
表 4-12	膝伸筋群増加者における介入前後の足関節角加速度第3 底屈ピーク時期.....	109
表 4-13	膝屈筋群増加者における介入前後の足関節角加速度第3 底屈ピーク時期.....	109
表 4-14	介入前後のフットクリアランス.....	110