



北海道公立大学法人
札幌医科大学
Sapporo Medical University

SAPPORO MEDICAL UNIVERSITY INFORMATION AND KNOWLEDGE REPOSITORY

Title 論文題目	脳性麻痺者の腓腹筋構造およびその形態に関する研究
Author(s) 著 者	横井, 裕一郎
Degree number 学位記番号	甲第 26 号
Degree name 学位の種別	博士 (理学療法学)
Issue Date 学位取得年月日	2014-03-31
Original Article 原著論文	
Doc URL	
DOI	
Resource Version	Author Edition

博士論文

脳性麻痺者の腓腹筋構造
およびその形態に関する研究

Muscle Architecture and Morphology of
Medial Gastrocnemius Muscle in Adults with Cerebral Palsy

札幌医科大学大学院保健医療学研究科 博士課程後期

理学療法学・作業療法学専攻 神経発達障害理学療法学分野

横井裕一郎 Yokoi Yuichiro

目 次

I	本研究の背景	
I-1	脳性麻痺の障害像と姿勢・運動の特徴	1
I-2	CPの筋構造・形態に関する先行研究	2
I-3	脳性麻痺の筋性状による分類	3
I-4	成人期のCPの背景と研究	4
I-5	先行研究の課題	4
II	研究目的	
II-1	研究目的	5
II-2	本研究の意義	5
III	用語の定義と説明	
III-1	痙縮	6
III-2	拘縮と短縮	6
III-3	筋緊張亢進	6
III-4	筋形態	6
III-5	筋構造	7
IV	研究方法	8
IV-1	研究対象	9
IV-1-i	研究対象者	9
IV-1-ii	取り込み基準	9
IV-1-iii	除外基準	9
IV-2	測定方法	9
IV-2-i	対象者の測定姿勢とデータ測定	9
IV-2-ii	超音波画像機器	10
IV-2-iii	筋形態の測定	10
IV-2-iv	筋構造の測定	12
IV-3	運動機能評価	12
IV-4	データの解析方法	13
IV-5	研究のデザイン	13
V	倫理的配慮	
V-1	対象者への人権擁護のための対策	13
V-2	対象者への研究説明	13
V-3	データ管理	14
VI	結果	
VI-1	安静時、最大背屈時、最大底屈時の足関節 ROM	14

VI-2	筋の形態	14
VI-2-i	筋腹長	14
VI-2-ii	アキレス腱長	15
VI-2-iii	腓腹筋長	15
VI-2-iv	筋腹率	15
VI-3	筋の構造	
VI-3-i	筋厚	16
VI-3-ii	筋束長	16
VI-3-iii	正規化した筋束長	16
VI-3-iv	羽状角	16
VI-4	運動機能による筋形態と筋構造	
VI-4-i	筋腹率	17
VI-4-ii	筋厚	17
VI-4-iii	筋束長と正規化した筋束長	17
VI-4-iv	羽状角	17
VII	考察	
VII-1	筋の形態	18
VII-2	筋の構造	20
VII-2-i	筋厚	20
VII-2-ii	筋束長と正規化した筋束長	21
VII-2-iii	羽状角	22
VII-3	考察のまとめ	23
VIII	研究結果を踏まえた理学療法プログラムと今後の展望	24
IX	研究の限界	25
X	結語	26
XI	引用・参考文献一覧	27

結果の図表一覧	32~45
---------	-------

添付資料

I 本研究の背景

I-1 脳性麻痺の障害像と姿勢・運動の特徴

脳性麻痺（cerebral palsy、以下 CP とする）とは、「受胎から新生児期（生後 4 週以内）のあいだに生じた脳の非進行性病変にもとづく、永続的な、しかし変化する運動及び姿勢の異常である。その症状は 2 才までに発現する。進行性疾患や一過性運動障害、又は（将来）正常化するであろうと思われる運動発達遅延はこれを除外する」と定義されている¹⁾。つまり CP は発育途上の脳に非進行性の病変が生じ、その結果、永続的な中枢性運動障害をもたらした状態の総称である。

CP は、筋緊張の性状によって、痙直型、dyskinetic 型（日本のアテトーゼ型）、失調型、混合型等に分類されている²⁾。痙直型は CP の中では最も多く、錐体路障害および上位運動ニューロン障害の陽性徴候である痙縮を有するタイプである^{3,4)}。痙直型の筋は、成長や発達に伴う筋の活動性の増加と不動、定型的運動の繰り返しにより、筋の短縮・拘縮といった運動器系の障害が加わり、痙縮と拘縮が混在するとされている⁵⁾。特にこの状態は下腿三頭筋の中でも腓腹筋で見られるとされている⁶⁾。その結果、立位・歩行姿勢は、特有の姿勢である股関節屈曲・内転・内旋、膝関節屈曲、足関節底屈であるはさみ状姿勢やクラウチング姿勢となる⁷⁾。支持基底面は狭小化し、協調した立位・歩行バランスを制限するため、運動獲得が困難になる（図 1）。つまり CP は脳の病変は変化しないが、発達に伴う運動の獲得、異常姿勢、発達・身体活動の制限⁷⁾、加齢に伴う運動の低下⁸⁾が起こる。これまではこのような CP の障害像に対する研究は、神経系の研究が主体であったが、近年、これらの障害の背景として、CP の骨格筋の構造・形態の変化・特徴を示す研究が報告されている^{9~12)}。



図 1 CP の立位姿勢と尖足

I - 2 CPの筋構造・形態に関する研究

近年、CPの筋の構造・形態をとらえるために、超音波画像を使用した研究が報告されている^{9~12)}。超音波画像による筋の評価は、生体内の筋構造・形態を可視化でき、非侵襲的かつ簡便、量的な臨床評価が可能である¹³⁾。またCPの人にとっては、密室ではなく、また評価時間が短いため、筋緊張が高まるといった身体的・精神的負担が少ないことが利点である。

超音波画像によるCPの筋の構造・形態に関する研究は、大腿四頭筋^{14,15)}と腓腹筋が主な対象である。Barretら¹⁶⁾のシステマティックレビューによると、腓腹筋に対する研究では、筋厚(Muscle Thickness)、筋束長(Muscle Fascicle Length)、羽状角(Pennation Angle) が計測されていると報告している(図2,3)。腓腹筋の形態は、羽状筋(pennate muscles)に分類され、筋束が筋の長軸方向に対して、ある角度をもって斜めに配列している。そして羽状筋の深部では腱と連続して薄い筋膜が伸びて、その間を斜めに筋束が並んでいる。この配列角度は羽状角と定義されている。

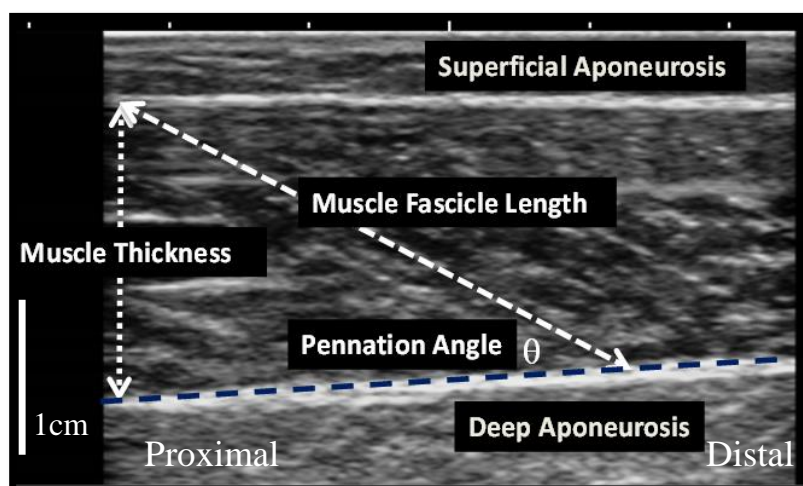


図2 腓腹筋の超音波画像と評価方法

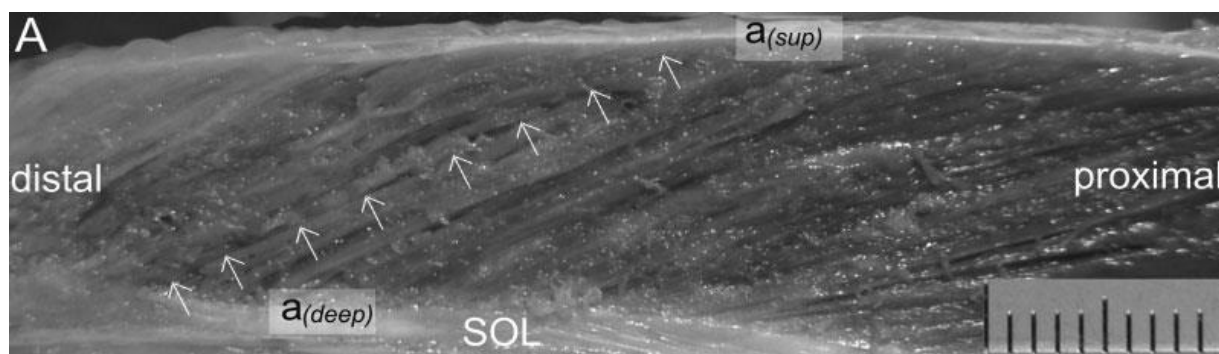


図3 腓腹筋内側頭の構造¹⁷⁾

CPの筋構造に対して超音波画像を使用した最初の研究である、Shortlandら⁹⁾の研究では、痙直型CP児の下腿三頭筋の筋束長は健常児と比較したところ、統計的有意差が認められないと報告した。つまり歩行可能な痙直型両麻痺の腓腹筋の短縮は筋束の減少が原因ではなく、腓腹筋内側頭のような羽状筋の筋腱移行部の短縮の可能性を報告した。ただし、この研究の筋束長のデータは、健常児とCP児の身長差を考慮して、下肢長にて除す「正規化」を行っている。

これに対してMohagheghiら¹⁰⁾の、CP痙直型片麻痺児の腓腹筋内側頭の筋束長と筋厚を麻痺側と非麻痺側で比較した研究では、麻痺側の筋束長は18%、筋厚は20%の有意な減少を報告した。しかし羽状角は麻痺側と非麻痺側の間には有意な差がないと報告した。この原因はCPの持つ障害特性と立位・歩行時の下肢荷重量などの多要因が考えられる。ただし、この研究は同じ生体内の比較であるため、身長差は考慮していない。またBarberら¹¹⁾の研究では、CPの歩行可能な2～5才のGross Motor Function Classification System (以下、GMFCS)¹⁸⁾のレベル I・IIの子どもは健常児と比較して、すでに腓腹筋内側頭で筋厚が22%減少していると報告した。

さらにWrenら¹²⁾の筋形態に関する研究では、動物実験の結果を参考として、成長中における筋の不動が、筋腹を短くして腱要素を長く発達させることから、脳性麻痺の足関節の可動域制限も動物実験と同様の傾向があるという仮説にて行われた。その結果、尖足歩行の痙直型CP児は、正常児よりもアキレス腱が長く、腓腹筋内側頭の筋腹は短いと報告している。また腓腹筋に対して筋腹が占める割合は、健常児は55%、痙直型CP児は48%であり、有意な痙直型の低下が認められた。この特徴は、足関節底背屈の可動域制限のない運動性のある尖足歩行の子どもも同様な結果であった。さらにはアキレス腱の延長術により背屈角度を再現しても、正常の筋腱構造にはならず、手術後の底屈筋群の弱化に影響する可能性があるとして報告した。この場合は日常生活内で下肢への荷重が十分になされていると考えられるため、痙縮による足関節の可動性の低下が、筋構造の変化に影響を与えている可能性が示唆された。またFryらの研究¹⁹⁾でも同様に、底屈拘縮のある痙直型の腓腹筋筋腹は健常児よりも有意に短縮していると報告している。

以上のように、CPの下腿三頭筋に対する研究結果は、CP児の下腿三頭筋、腓腹筋内側頭の筋構造は、健常児のそれよりも減少していると報告している。また筋形態は筋腹が短く、アキレス腱が長いと報告している。しかしCP児と健常児に筋構造・形態に差がないという報告もある。これらの研究は、健常者とCP児の粗大運動条件を整えて、運動機能による違いを除外し、痙直型CPの障害特徴を明らかにしたことが特徴である。つまり筋構造・形態の違いは運動機能による影響ではなく、脳の損傷による影響と足関節の関節可動域 (Range of motion、以下ROM) 制限であることを示唆している。さらには幼少期のCPを対象にした研究結果から、筋構造・形態の違いは幼少期の早期から始まっている可能性を示している。

I - 3 脳性麻痺の筋性状による分類

痙直型の障害原因の多くは、早産低出生による虚血性脳障害による、脳室周囲

白質軟化症(Periventricular leukomalacia, 以下、PVL)²⁰⁾である。PVLは脳室周囲の皮質脊髄路を病巣とするため、痙縮を主とした障害像となる。痙縮は筋の随意的な運動性が低下するため、多くの痙直型は二次的障害としてのROM制限が作られる。

一方、アテトーゼ型は筋緊張が変動し、不随意運動を有するタイプである²¹⁾。障害原因の多くは、大脳基底核の核黄疽である。すなわち、運動を調整する大脳基底核の障害に起因する。このアテトーゼ型は近年、新生児医療の進歩により減少傾向にあるとされている²²⁾。アテトーゼ型の不随意的な筋収縮は、一過性と持続性という特徴を持つとともに、筋緊張の低下も多く見られる。その結果、アテトーゼ型は痙直型と比較して、ROM制限が少ないという特徴を持つ。それでも、加齢とともに不随意的な筋緊張の増加、運動機能の低下がみられるようになる。

先行研究では痙直型とアテトーゼ型など、異なる筋緊張の特性を持つCPの筋構造・形態を比較した研究はない。この原因は研究対象を子どもとしているためであり、アテトーゼ型CP児の減少が大きな要因であると考ええる。

I-4 成人期のCPの背景と研究

CPは昭和30年以降の医療の発展や早期発見・早期療育、低出生体重児の生存率の増加に連動して、近年、成人CP者が増加している。Evansら²³⁾は、CP児の90%が20歳まで生存していると報告している。またCrinchtonら²⁴⁾はCPの30歳生存率は約87%で、両麻痺の95%、四肢麻痺の75%は30歳でも生存していると報告している。

CP者の研究は、発達・加齢に伴った運動機能の低下²⁵⁾、筋緊張の亢進、疼痛、股関節脱臼といった二次障害に関する報告^{6,26,27)}はあるものの、多くが子どもを対象とした研究であり、成人CPを対象とした研究は極めて少ない。この理由はa) 一般的な高齢化と同様に、多くのCP者の生存も社会の初めての経験である、b) CPを幼少期からフォローしてきた肢体不自由児施設の対象年齢が18才未満であるため、医療的フォローから切り離されている、c) CP者の医療・福祉環境が一元的に整備されていない、d) 医師等の医療スタッフの関わりが少ない、と考えられる。したがってCP者の障害の病態は不明な点が多い。さらに子どもは、筋骨格の発達途中であるため、対象者間の成熟度が異なる。成人であれば、筋骨格系の成長が終了した安定した状態と考えることができる。そのような観点からも、成人の健常者とCP者の筋構造・形態を比較する研究は大変意義がある。

I-5 先行研究の課題

先行研究の多くは、歩行可能な痙直型CP(以下、痙直型とする)児が研究対象者¹⁴⁾で、健常児との比較による、運動機能の影響を除外した、筋構造・形態の研究である。しかし子どもは、発達途中であり、対象者間の筋骨格の成長段階が統一していないため、統一していない研究結果となっていると考えられる。さらには成人のCP者を対象とした筋構造・形態の研究はない。したがって身体的発達

が完成して筋骨格系の変化がない成人を研究対象とすることで、CP の障害特徴を一層明らかにできると考える。

また臨床では痙直型 CP の他に、アテトーゼ型 CP も存在する。アテトーゼ型は痙直型と比較して腓腹筋の筋緊張が亢進しておらず、足関節の ROM 制限が少ない。よって痙直型とアテトーゼ型を比較することにより、痙直型の持つ痙縮や足関節可動域制限による腓腹筋の特徴とアテトーゼ型の特徴を明らかにできる。

またGMFCSと大腿四頭筋の筋厚の関連の研究がある¹⁴⁾ものの、粗大運動機能と腓腹筋の筋構造に関する研究は見当たらない。運動機能の比較による研究がない原因は、痙直型で比較しても差は明らかであるという考えが根本にあると思われる。しかし違う筋の性状を持つアテトーゼ型と痙直型の運動機能による比較を行うことで、筋構造・形態の特徴の理解を深めることができる。

Ⅱ 研究目的

Ⅱ－１ 研究目的

本研究では成人 CP 者の腓腹筋内側頭における筋構造・形態に対して超音波画像を使用して評価する。評価する筋の形態は、腓腹筋長を筋腹長とアキレス腱長から算出し、腓腹筋に占める筋腹の割合を筋腹率として評価する。また筋の構造は、筋束長、羽状角、筋厚とする。以上の結果は、CP の痙直型、アテトーゼ型、健常者にて比較検討する。その後、CP の痙直型とアテトーゼ型の運動機能を歩行群、立位群にて比較する。以上の比較から、障害特徴を明らかにする。なお、腓腹筋内側頭は、その痙縮による内反尖足変形の主要原因⁶⁾であり、また多くの先行研究がなされており、先行研究との比較・検討を行うために研究対象の筋とした。

Ⅱ－２ 本研究の意義

痙直型 CP は、成長と加齢にともない、筋の伸張性が低下して変形・拘縮が出現する。特に CP 者は成人期に身体の筋緊張が一層亢進して、小児期に可能であった運動機能や ADL の低下が報告されている⁷⁾。筋緊張に対する評価は、ROM²⁸⁾、Modified Ashworth Scale (以下、MAS)^{29,30)}や Modified Tardieu Scale(以下、MTS)³¹⁻³⁴⁾等の身体外部から量的に評価する方法であり、直接的な筋の構造・形態変化は評価していない。

そこで本研究では成人 CP 者の腓腹筋における筋構造・形態を研究し、その特徴をとらえる。その結果、CP 者の筋の特徴、筋緊張のタイプによる違い、粗大運動機能による違いを検討する。以上のことが明らかになれば、CP 者の身体的問題の理解、運動機能の維持・向上や理学療法内容、介入時期、外科介入を検討する一助になる点で意義がある。

Ⅲ 用語の定義と説明

Ⅲ－１ 痙縮

痙縮は、「伸張反射の亢進の結果で生じる、筋伸張速度に依存した受動運動に対する抵抗の増大を主とするもの」³⁵⁾と定義され、筋の収縮要素に含まれる反射性要素による抵抗とされている。生理学的には、伸張反射と同様であり、筋紡錘が急激に伸張されると求心性感覚神経線維である Ia 線維が興奮し、これが単シナプス性に脊髄前角の α 運動ニューロンを興奮させ、運動神経線維を順行性にインパルスが伝達し筋を収縮させる³⁶⁾。これらの反射過程は上位中枢によって調整されている。錐体路障害によって上位中枢の調整が不能になり、過剰に筋の収縮が出現した状態である。なお本研究では、痙縮を持つ CP のことを痙直型とする。

Ⅲ－２ 拘縮と短縮

拘縮の定義は「関節を構成する軟部組織の可動性低下によるもの」³⁷⁾とされ、①皮膚性、②結合組織性、③筋性、④神経性、⑤関節性の拘縮による非反射性要素による抵抗とされている³⁹⁾。短縮は拘縮の定義中の③、つまり筋性の変化のこと。

Ⅲ－３ 筋緊張亢進

筋緊張亢進は 1) 神経原性の筋緊張亢進のこと（痙縮、固縮など）、 2) 非神経原性の筋緊張亢進のこと（拘縮、短縮など）を包括した状態のこと。

Ⅲ－４ 筋形態（図 4）

本研究における腓腹筋の形態^{12,39)}は、内側頭と外側頭の筋腹部分とアキレス腱部分とする。本研究では Barber ら³⁹⁾が妥当性と信頼性を報告した、US-Tape 法を参考に、距離計測の方法の変更を加え、腓腹筋内側頭の筋腹長、アキレス腱長を測定した。詳細は以下記載する。

1) 腓腹筋長(Gastrocnemius Muscle Length)

本研究の腓腹筋長は、腓腹筋内側頭長と定義する。腓腹筋内側頭長は腓腹筋内側頭の起始部である大腿骨内側顆から、停止部の踵骨の中樞側端までの距離とする。本研究では筋腹長とアキレス腱長から腓腹筋長を算出した。

2) 筋腹長(Muscle Berry Length)

腓腹筋における、筋腱複合体である部位を筋腹とする⁴⁰⁾。筋の結合組織は筋外膜、筋周膜、筋内膜があり、筋の腱に連結する。この連結する部位を、筋腱接合部(Muscle-Tendon Junction、以下 MTJ)という。筋腹は筋線維があるため、この収縮によって足関節の運動を引き起こす。MTJ の筋線維と腱組織が交互に入り組んだ凹凸構造は、筋で発生した力を腱で効率的に関節に伝える役割がある。筋腹長は大腿骨内側顆から MTJ までの距離とする。

3) アキレス腱長(Achilles Tendon Length)

腓腹筋の中で、腱線維からなる部位をアキレス腱とする。腱の主成分はコラーゲン線維であり、それ自体の伸張性はないが網目状に織りなされた線維網を形成することで伸張性を生み出している²⁷⁾。アキレス腱長は筋腱接合部から、停止部の踵骨中枢側端までの距離とする。

4) 筋腹率

筋腹長のような長さについては、対象者の身長、下腿長といった身体長軸方法の長さに影響される可能性がある。したがって長さ因子を補正するために、腓腹筋に対して筋腹が占める割合である筋腹率を求めた。筋腹率は、 $\text{筋腹率} = \text{筋腹長} / \text{腓腹筋長} \times 100$ にて算出した。筋腹率は高いほど、腓腹筋の中で、筋腹が占める割合が高くなり、筋線維で産生した力を効率的に関節に伝えることが可能と判断する。

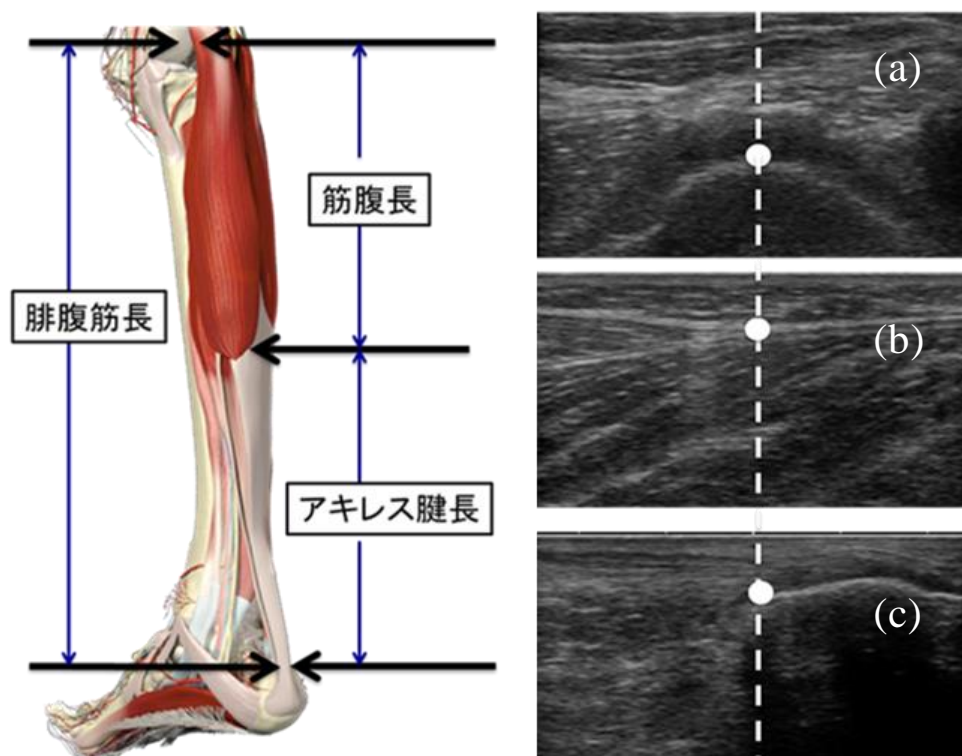


図4 腓腹筋の筋腹長、アキレス腱長、腓腹筋長
(a) 大腿骨内側顆 (b) MTJ (c) 踵骨中枢側端

Ⅲ-5 筋構造

筋構造の評価に使用する超音波機器の **Brightness-mode** (以下、**Bモード**) は振幅の大きさを輝度に変換して表示する。振幅が大きければ明るく表示され、小さければ暗く表示される⁴²⁾。腓腹筋を評価する場合、筋や腱のコラーゲン線維は

白く表示されるため、筋厚、筋束の長さや筋束の角度を表示される（図 2）。

本研究で使用する超音波画像による筋の構造評価^{9,13,17,42)}について以下に示す。

1) 筋厚 (Muscle Thickness)

筋厚は超音波画像における浅部筋膜と深部筋膜間の垂直距離とする。腓腹筋は羽状筋であるため、羽状筋の筋厚は足関節の角度変化につれて変化しないか、変化があってもわずかであるとされている⁴³⁾。また筋厚は筋線維の太さの影響を受けることから、本研究では CP の日常生活的な筋の使用状況を表す指標として使用する。

2) 筋束長 (Muscle Fascicle Length)

筋束は、筋線維の集合体であり、筋束内で筋線維は結合している⁴⁴⁾。腓腹筋では浅部筋膜と深部筋膜の間を結んでいる。筋束長は、超音波画像から得られる浅部筋膜と深部筋膜を斜めに結んだ距離で表す。これは足関節背屈に伴って伸張され、底屈とともに短縮するとされている。随意的な求心性収縮を行うと筋束長は短くなる。本研究では他動的に足関節の位置を設定して、筋束長を測定するため、足関節の最大背屈時には外力により筋が最大に伸張され、筋束長が長くなる。また最大底屈時では最も筋が弛緩するため、短くなる。

3) 羽状角 (Pennation Angle)

羽状筋における羽状角は筋膜と筋束のなす角度である。超音波画像では浅部筋膜 (Superficial aponeurosis) と深部筋膜 (Deep aponeurosis) の間をつなぐ筋束が深部筋膜となす角度のことである。

羽状角は通常、他動的な足関節背屈に伴い減少する。これは筋の伸張の際に深部筋膜が末梢側に引かれるためである。そして腓腹筋の筋厚と羽状角は底屈への収縮によって増大がおこる。また羽状角は、腱に平衡であれば筋線維によって発生した力は、腱を介して伝達する。しかし羽状角は大きくなるほど、筋線維によって発生した力よりも小さい力しか伝達しない⁴⁴⁾。例えば腱に対して筋線維配列角度が 30°であれば、筋線維は 86% の力を腱の長軸に伝達する⁴⁵⁾。また安静時での羽状角の大きさは、筋厚に影響され、筋厚は筋線維の太さの影響を受ける。

CP は筋線維が細く、筋厚の減少が予想されるため、羽状角の減少が考えられる。ただし CP は随意的筋収縮を行う機会が少ないことや足関節の可動域制限も考えられるため、他動的底背屈に伴った羽状角の変化が少ない可能性がある。本研究は痙直型とアテトーゼ型を比較して、その特徴について考察する。

IV 研究方法

研究対象者である成人 CP 者は、研究実施協力施設である北海道福祉村、北海

道立こども総合医療療育センター勤務の医師、理学療法士からの選抜とした。健常者は、研究の趣旨を理解し承諾されたボランティアに依頼した。研究対象者の選抜は、研究趣旨を対象者または家族に説明して、協力の得られた人とした。

IV－1 研究対象

IV－1－i 研究対象者（表 1）

対象者は痙直型 CP 者 20 名（ 25.8 ± 2.7 才）、アテトーゼ型 CP 者 20 名（ 42.4 ± 9.4 才）、健常者 20 名（ 39.5 ± 10.8 才）であった。CP に対する痙直型とアテトーゼ型分類は、Hypertonia Assessment Tool（以下、HAT）⁴⁶⁾を使用した。また身体の障害範囲は左右両側性麻痺（四肢麻痺、両麻痺）とした。運動機能は痙直型とアテトーゼ型とも歩行群 11 名、立位群 9 名であった。

IV－1－ii 取り込み基準

- ・ CP の確定診断がされている
- ・ 粗大運動機能の変動がなく、障害が安定している
- ・ 研究者または家族の説明を理解して研究の承諾できる知的レベルである
- ・ 測定の直前に理学療法を受けていない
- ・ 健常者は、測定日に過度な運動はしていない

IV－1－iii 除外基準

- ・ 筋緊張の亢進、股関節・膝関節の拘縮が原因で研究測定姿勢がとれない
- ・ アテトーゼ型の中で、腓腹筋の不随意運動が絶えず出現している
- ・ 子どもの頃は立位・歩行していたが、機能低下により立位・歩行ができなくなった
- ・ 頸椎、腰椎など脊髄を圧迫するような疾患、内臓疾患がある
- ・ 健常者は研究実施の半年以内に、運動器の障害を有していて、日常生活、特に移動や運動が制限されている

IV－2 測定方法

超音波画像機器の使用にあたり、検者は CP と健常者に対して 2 年の使用経験があり、また研究補助者は本研究実施前に、足関節固定方法を練習した後、研究を開始した。

IV－2－i 対象者の測定姿勢とデータ測定

対象者は検査台にて腹臥位となり、検査台の端から下腿・足部を出す肢位に設定した。測定脚については、CP 者は背屈制限の強い方を障害が重い方として採用し、健常者はランダムに一側下肢を採用して測定した。

測定は安静(Resting Position、以下 RP)、他動的足関節最大背屈 (Max Dorsi Flexion, 以下 MDF)、他動的足関節最大底屈 (Max Plantar Flexion, 以下 MPF)にて

行い、それぞれの筋形態と筋構造の評価に必要な画像を保存した。RP は筋に対して外力のかからない自然な状態、MDF は関節運動を伴う中で最も伸張の外力が加えられた状態、MPF は関節運動が伴う中で最も弛緩した状態である。本研究では RP、MDF、MPF の順に足関節底背屈角度を測定し、また画像データを保存した後、底背屈 0° (以下、 0°) の評価を行った。この 0° での測定は、筋構造が足関節の角度による影響を受けるため、足関節の角度をそろえて、比較検討した。

測定の際、研究補助者は足関節を徒手にて保持した。また CP 者の場合、MDF では伸張反射が誘発される可能性があるため、研究補助者はゆっくりと足関節を背屈しながら腓腹筋を最大に伸張した。その後、研究補助者はわずかに伸張方向への外力を低下させた状態で足関節を保持した。

また足関節の角度は底背屈 0° を基準とし、背屈は+、底屈は-の表示とした。角度の値は、足部の外側縁と下腿軸のなす角度とし、ゴニオメーター（国際標準角度計）を使用して測定した。膝関節は、腓腹筋が二関節筋⁴⁵⁾であるため、膝関節角度の評価へ影響を考慮して、伸展 0° 、または最大伸展位とした。脳性麻痺者の膝関節に伸展制限がある場合は、安静腹臥位にて下腿の重さでゆっくりと伸展した最大伸展位にて評価した。下腿長は膝裂隙と外顆の最も膨隆した点を結んだ距離をメジャーにて測定した。

IV-2-ii 超音波画像機器

超音波画像評価には、HS-2100（B モード、距離分解能 0.4mm 以下、方位分解能 0.5mm 以下、本多電子社製）、リニアプローブ（HLS-575M 7.5MHz）を使用した。

IV-2-iii 筋形態の測定

腓腹筋内側頭、筋腹長とアキレス腱長の測定は、Barber ら³⁹⁾の方法を改変して実施した（図 5）。Barber らの方法はリニアプローブにメジャーを付けて、筋形態を測定していた。しかしこの方法では、下腿の湾曲によりメジャーが歪むため、正確な測定が困難である可能性がある。したがって本研究では、筋形態の測定の際、正確に長さを算出するために、デジタルノギス（シンワ社製、最小読取値/0.01mm、器差/±0.03mm、繰返し精度/±0.01mm、測定範囲 0-300mm）を使用した。デジタルノギスは下腿の湾曲に対しても直線距離で測定可能であった（図 6）。

測定手順は、はじめにリニアプローブの中間と超音波画像（以下、画像）の中間を確認した。次に画像の中間にて、腓腹筋内側頭の起始部である大腿骨内側顆の頂点を同定して、プローブの中間部にて皮膚にシールにてマークした（図 5a）。さらに画像の中間にて、アキレス腱付着部である踵骨中枢側を同定してプローブの中間にて皮膚にシールにてマークした（図 5c）。また大腿骨内側顆と踵骨の中枢側を直線で結んだ線の間で、MTJ を画像の中間で同定し、プローブの中間で皮膚にシールにてマークした。大腿骨内側顆の頂点と筋腹部と腱部の移行部位の距離を筋腹長、踵骨中枢側と MTJ の間をアキレス腱長とし、デジタルノギスを用い

て測定した（図 6）。

腓腹筋長は、筋腹長＋アキレス腱長により算出した。加えて、腓腹筋に対して筋腹が占める割合として筋腹率を求めた。筋腹率は、 $\text{筋腹率} = \text{筋腹長} / \text{腓腹筋長} \times 100$ にて算出した。

なおこの測定法の再現性について、我々は級内相関係数 **Intraclass correlation coefficients** (以下 ICC) の ICC (1.1) を使用して研究した結果、CP 者の ICC は 0.95～0.96、健常者の ICC は 0.85～0.97 であり、高い再現性を示した⁴⁷⁾。

以上の測定は、RP、MDF、MPF、0°で行った。その後、MDF－MPFの値を算出した。

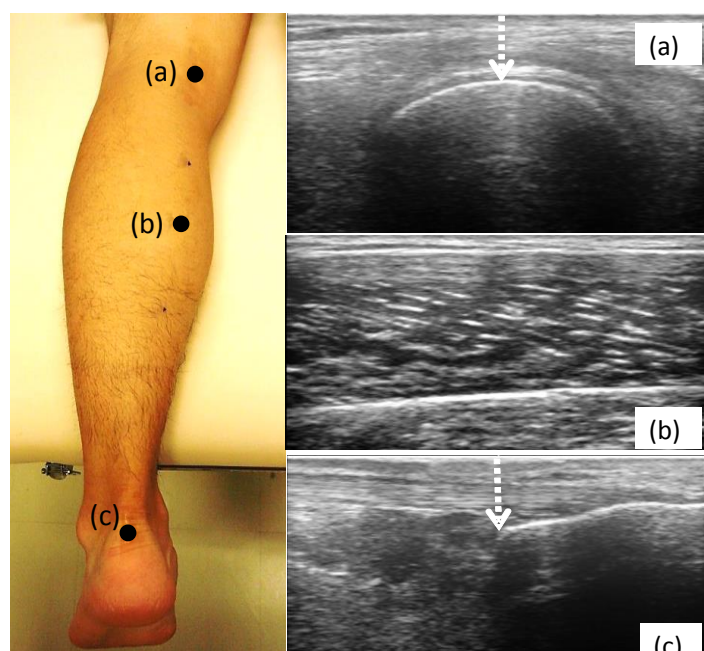


図 5 腓腹筋の測定部位と超音波画像

(a) 大腿骨内側顆の頂点 (b) 筋厚の最大部位 (c) 踵骨の中樞側



図 6 デジタルノギスによる筋腹長の測定

IV－2－iv 筋構造の測定

腓腹筋内側頭の筋厚、筋束長、羽状角の測定部位は、大腿骨内側顆の頂点と、踵骨の間の皮膚上に直線を引き、腓腹筋内側頭の筋腹部における最大膨隆部を研究者が視覚的に同定した部位で画像を記録した（図 5b）。その計測を一定かつ再現性の高いものにするために、プローブの位置は超音波が深部筋膜に対して垂直になり、最も輝度が鮮明となる角度とした。その位置で微調整しながら腓腹筋内側頭の筋厚が最大となる部位を同定した。なおプローブの生体に対する圧は、プローブ自体の重さがかかる程度とし、フットスイッチにて画像を記録した。

記録した画像は、デジタル画像として外部のコンピュータへデータを変換した後、image J (National Institutes of Health: NIH 製) の距離ツールと角度ツールを使用して、画像から筋厚、筋束長、羽状角を測定した（図 2）。

筋厚の測定は、画像における浅部筋膜と深部筋膜の間を直線で結んだ垂直距離とした。画像の中で最も腓腹筋が厚い部分を測定した。この際、浅部筋膜と深部筋膜は厚みがあるため、最も内側の部位で計測した。

筋束長の測定は、画像における浅部筋膜と深部筋膜の間をつなぐ斜めに走行している筋束の長さとした。測定部位は筋厚を測定位置の浅部筋膜から深部筋膜に向かって斜めに走行しており、最も輝度が鮮明となる筋束を同定し、筋束長を測定した。筋厚測定と同様に浅部筋膜と深部筋膜自体の厚みがあるため、最も内側の部位で計測した。筋束長は、超音波画像内で評価できない場合、筋厚と羽状角で決定した値を使用して三角関数の平均から算出した^{9,13)}。計算式は、Muscle Fascicle Length = Muscle Thickness/Sin θ (θ : Pennation Angle) を使用した。また筋束長は、下腿長にて除した、正規化した筋束長を採用した先行研究があり、それらの研究と比較検討するために本研究でも採用した。値の算出方法は、正規化した筋束長＝筋束長/下肢長とした。

羽状角は、羽状筋における筋膜と筋束のなす角度である。したがって筋束長の測定の際に評価した筋束と深部筋膜のなす内側角度を計測した。

この測定法の再現性について、我々は級内相関係数 Intraclass correlation coefficients (以下 ICC) の ICC (1.1) を使用して研究した結果、CP 者の ICC は、0.95～0.99、健常者の ICC は、0.81～0.99 であり、高い再現性を示した⁴⁸⁾。

以上の測定は、RP、MDF、MPF、0° の順で行った。その後、MDF－MPF の値を算出した。

IV－3 運動機能評価

粗大運動機能による比較を行うために、CP 者を歩行群と立位群に分けた。この際、粗大運動機能評価として GMFCS¹⁸⁾ を使用した。しかし本研究は成人 CP が対象であるため、GMFCS の年齢上限である 12 才～18 才の年齢帯を参考とした。歩行群 (GMFCS Level1 と 2) は独歩、杖の使用を含めて日常生活内で歩行している人とした。立位群 (GMFCS Level3 と 4) は日常生活ではほとんど車いすを使用しており、必要に応じてつたい歩き、立位をしている人とした。

Ⅳ－４ データの解析方法

記録した画像からデータ処理を行った後、解析を行った。

筋の形態については、腓腹筋に対する筋腹がしめる割合である筋腹率を中心に検討を行った。また筋構造データは筋厚、羽状角の生データとし、筋束長については先行研究を参考に、筋束長の生データ値と正規化した筋束長を採用した。

痙直型、アテトーゼ型、健常者の足関節の角度については、対応のない一元配置分散分析を行った。その後の多重比較は等分散の場合は Tukey 法、等分散ではない場合は Games-Howell 法にて検定を行った。

MDF、0°、MPF の各足関節角度における筋の形態・構造の項目と、痙直型、アテトーゼ型、健常者の 3 者の比較には、繰り返しのある 1 要因に対応があり、1 要因に対応がない 2 元配置分散分析を行った。Mauchly の球面検定を行い、有意な差を確認し、その後 Greenhouse-Geisser の ϵ 修正による検定を使用した。また交互作用が認められた場合は、被験者間要因の単純主効果検定の水準別誤差項にて分析した⁴⁹⁾。

痙直型とアテトーゼ型、各々の歩行群と立位群の比較には、対応のない一元配置分散分析を行った。その後の多重比較には、等分散の場合は Tukey-Kramer 法、等分散でない場合は Games-Howell 法を使用した。

なお全統計解析の有意水準は危険率 5%とした。

Ⅳ－５ 研究デザイン

本研究の研究デザインは、量的研究の非実験デザインの方法論研究（評価研究）である⁵⁰⁾。

Ⅴ 倫理的配慮

本研究は札幌医科大学倫理委員会の承認後から実施した。

Ⅴ－１ 対象者への人権擁護のための対策

データ収集を行う施設においては、施設長、受け入れ責任者、理学療法士に研究の主旨を説明して承認された後に、対象者への調査依頼し、書面にて同意の署名を得た。研究協力依頼は理学療法担当者を紹介を受けてから、プライバシーの保たれる場所で研究の目的と方法を説明し、協力の依頼を文章と口頭で行った。

Ⅴ－２ 対象者への研究説明

本研究対象者、または保護者には研究の目的と方法を、協力の依頼用の書面（説明文章）と口頭で説明した。この際、研究者は対象者または保護者に匿名性の確保、研究への協力は自由意志であること、研究協力の有無や研究途中での辞退によるリハビリテーションの内容に差は生じないことを十分に説明した。研究協力の承諾が得られた時点で書面にて同意の署名を得た。対象者が身体の障害により

承諾の記載ができない場合、署名・捺印は家族または代諾人に依頼した。

V-3 データ管理

本研究のデータ管理は、データ及び個人情報の防止のために、ローマ字による頭文字を使用して匿名化した。その後、個人が特定されないように数字・記号によるナンバーリングを行い、保健医療学部4階417研究室の施錠できる保管庫にて研究データを管理した。研究データの管理には、個人情報の流出に留意して、インターネット接続をしないパソコンのハードディスクに保管した。パソコンは起動時のパスワード管理とセキュリティソフトによる管理を行った。

VI 結果

VI-1 安静時、最大背屈時、最大底屈時の足関節角度（表2）

RPの角度は、痙直型は $-32 \pm 8.9^\circ$ 、アテトーゼ型は $-33.5 \pm 9.3^\circ$ 、健常者 $-23 \pm 5.5^\circ$ であった。痙直型、アテトーゼ型は健常者との間に有意な差が認められ、有意に底屈していた($p < 0.001$)。痙直型とアテトーゼ型の間には有意な差が認められなかった($p=0.86$)。

MDFの角度は、痙直型 $-4.5 \pm 8.7^\circ$ 、アテトーゼ型 $6.3 \pm 10.6^\circ$ 、健常者 $11.8 \pm 4.9^\circ$ であった。痙直型はアテトーゼ型、健常者との間に有意な差が認められ、背屈角度が低下していた($p < 0.001$)。アテトーゼ型と健常者の間には有意な差が認められなかった($p=0.11$)。

MPFの角度は、痙直型 $-54.3 \pm 8.9^\circ$ 、アテトーゼ型 $-56.5 \pm 6.5^\circ$ 、健常者 $-49.8 \pm 8.3^\circ$ であった。アテトーゼ型と健常者の間に有意な差が認められ、アテトーゼ型は底屈角度が大きかった($p < 0.05$)。また痙直型とアテトーゼ型、痙直型と健常者の間には有意な差が認められなかった(各 $p=0.65, 0.19$)。

MDF-MPFによる足関節底背屈の角度範囲は、痙直型 $49.8 \pm 10.1^\circ$ 、アテトーゼ型 $62.8 \pm 11.5^\circ$ 、健常者 $61.5 \pm 10.9^\circ$ となり、痙直型はアテトーゼ型、健常者との間に有意な差が認められ、足関節底背屈の範囲が低下していた(各 $p < 0.001$)。またアテトーゼ型と健常者の間には有意な差が認められなかった($p=0.93$)。

VI-2 筋の形態

筋腹長、アキレス腱長、腓腹筋長、筋腹率について、RP、MDF、 0° 、MPFの各角度にて値を求めた。また筋腹長とアキレス腱長に対してはMDFとMPFの足関節角度の変化に伴う変化に対して統計解析した。

VI-2-i 筋腹長（表3、図7）

筋腹長はRP、MDF、 0° 、MPFにおいて、痙直型、アテトーゼ型、健常者のすべての間に有意な差が認められ、健常者、アテトーゼ型、痙直型の順に長い結果となった(すべて $p < 0.001$)。

また MDF と MPF 間の変化は、痙直型、アテトーゼ型、健常者ともに有意な差が認められ、足関節の背屈に伴い筋腹長が伸張していた(すべて $p < 0.001$)。

筋腹長の MDF-MPF の値は、痙直型、アテトーゼ型、健常者のすべての間に有意な差が認められ、筋腹は健常者が最も伸張しており、アテトーゼ型、痙直型の順となった ($p < 0.05$)。

VI-2-ii アキレス腱長 (表 4、図 8)

アキレス腱長は RP、MDF、 0° 、MPF において、痙直型とアテトーゼ型、痙直型と健常者の間に有意な差が認められ、痙直型がアテトーゼ型と健常者よりも長い値を示した($p < 0.001$)。またアテトーゼ型と健常者は、すべての足関節位置において、有意な差が認められなかった($p = 1.00$)。

アキレス腱長の MDF と MPF 間の変化は、痙直型、アテトーゼ型、健常者はすべて有意な差が認められ($p < 0.001$)、背屈に伴い伸張していた。

また MDF-MPF の値は、痙直型、アテトーゼ型、健常者のいずれの間にも有意な差が認められなかった ($p = 0.75 \sim 0.97$)。

VI-2-iii 腓腹筋長 (表 5、図 9)

腓腹筋長は、RP、MDF、 0° 、MPF において、痙直型と健常者、アテトーゼ型と健常者との間に有意な差が認められ($p < 0.001$)、健常者が痙直型とアテトーゼ型よりも長い結果であった。しかし痙直型とアテトーゼ型の間には有意な差が認められなかった($p = 0.94$)。

腓腹筋長の MDF と MPF 間の変化は、痙直型、アテトーゼ型、健常者はともに有意な差が認められ($p < 0.001$)、背屈に伴い伸張していた。

腓腹筋長の MDF-MPF の値は、痙直型と健常者、アテトーゼ型と健常者との間に有意な差が認められ、健常者の腓腹筋は背屈につれて、有意に伸張していた ($p < 0.05$)。

VI-2-iv 筋腹率 (表 6、図 10)

筋腹率は RP、MDF、 0° 、MPF において、痙直型、アテトーゼ型、健常者の 3 つ間に有意な差が認められ (すべて $p < 0.001$)。いずれも痙直型が最も低く、続いてアテトーゼ型、健常者の順であった。

筋腹率の MDF と MPF 間の変化は、痙直型、アテトーゼ型、健常者はともに有意な差が認められた(すべて $p < 0.001$)。

MDF-MPF の値は、痙直型、アテトーゼ型、健常者のいずれの間にも有意な差が認められなかった($p = 0.78 \sim 0.98$)。

VI-3 筋の構造

筋厚、筋束長、正規化した筋束長、羽状角については RP、MDF、 0° 、MPF の角度にて値を求め、統計解析した。

VI-3-i 筋厚（表 7、図 11）

筋厚は、RP、MDF、0°、MPF において、痙直型、アテトーゼ型、健常者との間に有意な差が認められ ($p < 0.001$)、健常者が最も厚く、続いてアテトーゼ型、痙直型の結果であった。

筋厚の MDF と MPF の間の変化は、痙直型、アテトーゼ型、健常者はすべて有意な差が認められなかった ($p = 0.1 \sim 1.00$)。

MDF-MPF の値は、痙直型、アテトーゼ型、健常者のいずれの間にも有意な差が認められなかった ($p = 0.76 \sim 0.96$)。

VI-3-ii 筋束長（表 8、図 12）

筋束長は RP、MDF、0°、MPF において、痙直型はアテトーゼ型、健常者との間に有意な差が認められ ($p < 0.001$)、減少していた。しかしアテトーゼ型と健常者の間にはすべて有意な差が認められなかった ($p = 0.29 \sim 0.88$)。

筋束長の MDF と MPF の間の変化は、痙直型、アテトーゼ型、健常者はすべて有意な差が認められ (すべて $p < 0.001$)、底屈するにつれて減少、背屈するにつれて増加していた。

MDF-MPF の値は、痙直型、アテトーゼ型、健常者のいずれの間にも有意な差が認められ、健常者が最も大きい値を示し、続いてアテトーゼ型、痙直型の順であった (すべて $p < 0.05$)。

VI-3-iii 正規化した筋束長（表 9、図 13）

正規化した筋束長は、RP、MDF、0°、MPF において、痙直型はアテトーゼ型、健常者との間に有意な差が認められ ($p < 0.001$)、減少していた。しかしアテトーゼ型と健常者の間には有意な差が認められなかった ($p = 0.06 \sim 0.96$)。

正規化した筋束長の MDF、MPF 間の変化は、痙直型、アテトーゼ型、健常者はすべて有意な差が認められ ($p < 0.001$)、底屈するにつれて減少、背屈するにつれて増加していた。

MDF-MPF の値は、痙直型、アテトーゼ型、健常者のいずれの間にも有意な差が認められ、健常者が最も大きい値を示し、続いてアテトーゼ型、痙直型の順であった (すべて $p < 0.05$)。

VI-3-iv 羽状角（表 10、図 14）

羽状角は RP、MDF、0°において、痙直型、アテトーゼ型、健常者の 3 つの間にすべて有意な差が認められ ($p < 0.05$)、羽状角は痙直型が最も大きく、続いて健常者、アテトーゼ型の順であった。しかし MPF では、アテトーゼ型と痙直型、アテトーゼ型と健常者の間に有意な差が認められ ($p < 0.05$)、アテトーゼ型が最も小さい値であった。なお痙直型と健常者の有意な差が認められなかった ($p = 0.65$)。

MDF と MPF 間の変化は、痙直型、アテトーゼ型、健常者はすべて有意な差が認められ ($p < 0.01$)、底屈に伴い、羽状角は増加していた。

MDF-MPF の値は、痙直型、アテトーゼ型、健常者のいずれの間にも有意な差が認められなかった($p=0.17\sim0.74$)。

VI-4 運動機能による筋形態と筋構造

痙直型とアテトーゼ型の歩行群と立位群に対して、RP、MDF、 0° 、MPF の角度にて筋腹率を求め、比較・検討した。

また歩行可能な対象者間の比較として、痙直型の歩行群、アテトーゼ型の歩行群、健常者に対して RP、MDF、 0° 、MPF の角度にて値を求め、比較・検討した。

VI-4-i 筋腹率 (表 11)

痙直型の歩行群 (以下、痙直歩行群) と痙直型の立位群 (以下、痙直立位群) の間には、RP、MDF、 0° 、MPF のすべてに有意な差が認められなかった。

またアテトーゼ型の歩行群 (以下、アテ歩行群) と立位群 (以下、アテ立位群) の間には、各足関節角度において有意な差が認められ、立位群の明らかな筋腹率の低下が見られた ($p<0.001$)。

痙直歩行群、アテ歩行群、健常者の比較では、痙直型は、アテトーゼ型・健常者に対して有意な差が認められ、筋腹率が低下していた ($p<0.001$)。しかしアテ歩行群と健常者はすべて有意な差が認められなかった ($p=0.52\sim0.81$)。

VI-4-ii 筋厚 (表 12)

痙直歩行群と痙直立位群、アテ歩行群とアテ立位群での比較では、RP、MDF、 0° 、MPF のすべてに、有意な差が認められた ($p<0.05$)。

痙直歩行群とアテ歩行群、痙直歩行群と健常者の間に有意な差が認められ ($p<0.001$)、痙直型の筋厚は最も低い値を示した。またアテ歩行群と健常者の間には有意な差が認められなかった。

またアテ歩行群と健常者は RP で有意な差が認められた ($p<0.05$)。しかし MDF、MPF は有意な差が認められなかった (各 $p=0.08\sim0.15$)。

VI-4-iii 筋束長と正規化した筋束長 (表 13, 14)

痙直歩行群と痙直立位群、アテ歩行群とアテ立位群での比較では、筋束長、正規化した筋束長は、各足関節角度にて、すべて有意な差が認められなかった ($p=0.07\sim0.91$)。

痙直歩行群とアテ歩行群、痙直歩行群と健常者の間に RP、MDF、 0° 、MPF のすべてに、筋束長、正規化した筋束長ともに、有意な差が認められた ($p<0.001$)。またアテ歩行群と健常者の間には有意な差が認められなかった ($p=0.84$)。すなわち痙直歩行群が、低い値を示した。

VI-4-iv 羽状角 (表 15)

痙直歩行群と痙直立位群、アテ型歩行群とアテ立位群の比較では、RP、MDF、

0°、MPF のすべてに、羽状角は有意な差が認められなかった($p=0.14\sim0.99$)。

痙直歩行群とアテ歩行群の比較では、すべての足関節角度において羽状角の有意な差が認められ($p<0.05$)、痙直歩行群が大きい値を示した。

また痙直歩行群と健常者の比較では、MDF と 0° でのみ有意な差が認められ($p<0.05$)、痙直歩行群が大きい値を示した。しかし RP、MPF では有意な差が認められなかった ($p=0.07, 0.43$)。

アテ歩行群と健常者の間には、MDF で有意な差が認められた($p<0.05$)。しかし RP、0°、MPF では有意な差が認められなかった($p=0.07\sim0.37$)。

VII 考察

研究結果より、成人の痙直型 CP、アテトーゼ型 CP、健常者と比較して筋形態と筋構造の特徴について考察する。さらに子どもに関する先行研究と比較しながら成人 CP 者の特徴について考察する。

ただし本研究対象者である痙直型は、腓腹筋への手術のことを考慮しなければならない。痙直型の 14 名が腓腹筋への手術が実施されていた (表 1)。研究の実施に際して、手術歴は確認できたものの、術式等の詳細は不明であった。予備的に手術歴の有無で筋腹長、アキレス腱長、筋腹率を比較したところ、すべて有意な差は認められなかった ($p=0.19\sim0.79$)。したがって本研究では手術の有無は考慮せず、同一の対象者として扱うこととする。

VII-1 筋の形態

筋腹長はすべての足関節角度で、痙直型が最も短く、次にアテトーゼ型、健常者の順であった。また MDF-MPF の値も同様の結果であった。

痙直型の腓腹筋内側頭は、健常者と比較して、筋腹部が短く、筋腹率が低く、またアキレス腱部が長く、アキレス腱率が高い特徴が示唆された。RP、MDF、0°、MPF における筋腹率の平均値は、痙直型 46.2%、アテトーゼ型 53.7%、健常者 58.2% を示し、痙直型と健常者との差は 12%、痙直型とアテトーゼ型の差は 7.5% であった。健常者とアテトーゼ型は 50% 以上を示し、痙直型は 50% 以下と明らかな筋腹率の低下を示した。さらに痙直型の筋腹部の伸張性は低下を示し、一方でアキレス腱部の伸張性は健常者と近い値であった。

痙直型の MDF の角度は -4.5° であり、背屈方向への可動域制限が見られた。また痙直型の MDF-MPF の角度もアテ型、健常者より有意に低下していた。この原因は痙直型の筋腹部の伸張性低下が考えられる。さらに関節運動にともなう筋の収縮・伸張の機会が減少するため、このような筋の形態的な特徴を示したと考えられる。また痙直型の RP は底屈角度が健常者よりも大きく底屈していた。RP は筋に外力が加わらないため、筋腹部、および筋腹を構成する筋線維の実質的な短縮や筋膜といった結合組織の変性による影響であると考えられる。

アテトーゼ型の腓腹筋内側頭は、痙直型より筋腹部は長いものの、健常者より

は短く、筋腹率は健常者より低下していた。またアキレス腱は痙直型より短く、健常者と近い状態であった。さらに筋腹部の伸張性は痙直型よりは良好であるものの、健常者より低下していること、一方でアキレス腱部の伸張性は健常者と変わらないことが示唆された。

アテトーゼ型の MDF の角度は健常者と差がなく、また MPF は健常者よりも底屈していた。足関節の底屈は筋を弛緩させた状態であるため、この要因は、関節の弛緩であると考えられる。以上のことからアテトーゼ型の筋形態は、健常者と痙直型の中間に位置する特徴を持つと考えられる。

一般的に筋の状態は適当な刺激により変化するとされている⁵¹⁾。腓腹筋の筋腹は筋腱複合体であり、筋線維の収縮により筋力を発揮する。すなわち筋腹長の減少は、筋力低下かまたは筋線維の短縮した状態であると考えられる⁴⁵⁾。

痙直型にみられる痙縮は速度に依存した筋収縮による筋抵抗だけではなく、筋緊張、すなわち求心性収縮が継続し、かつ遠心性収縮と伸張される機会が少ない。また、腓腹筋の痙縮は、日常的に足関節を底屈位とし、筋活動を制限する。つまり筋が収縮または弛緩した不動な状態である。このような状態が小児期より継続しているため、筋線維は伸張する機会が少ない。その結果、筋線維が短縮して、筋束の集合体である筋腹部も短縮することから、筋腹率が低下すると考えられる。

痙直型の筋腹率の低さは、一方ではアキレス腱率が高さを示している。また痙直型のアキレス腱長は、身長と下腿長が健常者よりも低いにもかかわらず、最も長かった。通常、腱および筋膜は、筋との接合により筋線維で産生した力を関節運動にする役割がある⁴⁵⁾。さらには増加した腱のコンプライアンスは歩行に必要である機械的な作業の多くに影響するとされ、筋調節、出力を減少させる可能性がある¹²⁾。痙直型は痙縮、および随意性の低下により、腓腹筋の随意的な求心性収縮がうまく行えないため、底屈方向に足関節を動かすことが困難である。したがって、わずかな筋線維の収縮を効率的に関節運動に伝えるためにアキレス腱部の過剰な安定性、固定性を利用して、機能的かつ代償的に発達している可能性が考えられる。この点については動物実験ではあるが、関節の固定・不動による腱部の増加を示している研究⁵²⁾があり、CP についても同様の現象が起きている可能性が考えられる。

運動機能による筋腹率の比較では、痙直歩行群と痙直立位群との間には有意な差がなく、筋形態が近いことが示された。運動機能は下肢への荷重量、筋の収縮、伸張等に影響し、筋形態への影響を予想していた。しかし立位群と歩行群の運動機能は腓腹筋内側頭の筋形態には影響していない。運動機能の違いは腓腹筋の筋形態は関連せず、膝関節伸展筋群などの他筋の状態、筋力、可動域制限、バランス反応など複合的な影響であることが推察される。

アテ歩行群は平均筋腹率 56.8%。立位群は平均 49.4%を示し、有意な差が認められ、アテトーゼ型は運動機能と筋腹率の関連が示唆された。さらに健常者とアテトーゼ型の歩行群には有意な差が認められず、近い値を示していた。この結果

は歩行可能なアテトーゼ型の筋形態は健常者と近い状態であることを示している。アテトーゼ型の特徴は不随意的な筋収縮であり、筋、筋線維は、絶えず収縮－弛緩、また腓腹筋の遠心性収縮、求心性収縮を行っている。すなわち痙直型の筋緊張亢進とは異なり、筋緊張は常に亢進しているわけではない。したがってアテトーゼ型は痙直型よりも関節運動に伴う筋収縮の機会が多いために、アテトーゼ型と痙直型の筋腹長、筋腹率の違いが見られた可能性が考えられる。以上のことより痙直型とアテトーゼ型は健常者と異なる筋の形態的な特徴が示めされた。

本研究の結果と先行研究と比較して成人 CP の特徴を考察する。ある先行研究では、2～5 歳の CP 児の筋腹率は、健常児よりも 22% の減少があったと報告している¹⁰⁾。本研究の結果は、CP 者の筋腹は健常者よりも約 20% 減少しており、子どもを対象者とした先行研究と概ね一致した値を示した。また Wren らの研究の結果は、安静時の筋腹率は健常児 55%、痙直型 48%、また腓腹筋に対する手術適応とされる痙直型の筋腹率は 45% であった¹²⁾。本研究結果は安静時で健常者 58%、痙直型 45.3% であった。2～3% の差は見られものの、手術適応の CP 児と近似した値であった。この結果より、痙直型の筋腹率低下は、幼児期に既に規定されており、発達・加齢に伴う変化がない可能性が考えられる。羽状筋は胎児の時には紡錘状筋（平行筋）であり、生後徐々に腱膜が発達して成人の形状になるとされている⁵³⁾。出生時に起こる障害である CP は、腓腹筋の痙縮による筋緊張の異常や随意性の低下によって、足関節底背屈運動による、筋腹部の収縮・伸張を行う機会が少なく、足関節底屈の際に随意的な筋力を発揮することができない。その少ない筋力で効率的に足関節底屈運動を行うために、平行筋が羽状筋と発達・変化する中で、アキレス腱部が多く発達してきた可能性が考えられる。

VII-2 筋の構造

VII-2-i 筋厚

痙直型とアテトーゼ型の筋厚は、健常者より有意に減少していた。また各関節測定筋の筋厚の平均値は、痙直型 1.2cm、アテトーゼ型 1.7cm、健常者 2.1cm であり、健常者の筋厚に対して、痙直型の筋厚は 57.1%、アテトーゼ型の筋厚は 80.9% であった。筋厚は筋線維の直径に影響される。したがって痙直型とアテトーゼ型は筋線維の直径の減少、また筋力の低下が考えられる。

筋厚は痙直型、アテトーゼ型の各足関節角度において、有意な差は認められなかった。つまり他動的な角度変化、及び筋の伸張・弛緩といった変化に対して、筋厚は変化せず、一定の厚さであることが示唆された。これは健常者を対象とした先行研究⁴³⁾と同様な結果であった。すなわち痙直型、アテトーゼ型も健常者と同様な羽状筋の特性を示す結果となった。

歩行群と立位群との比較では、痙直歩行群 1.3cm、痙直立位群 1.1cm、アテ歩行群 1.9cm、アテ立位群は 1.4cm を示し、痙直型、アテトーゼ型ともに運動機能による筋厚に差があることが示唆された。

骨格筋は適当な刺激によって変化するとされている⁵¹⁾。そして筋厚に影響する要因は、筋線維の直径である。本研究の結果から、歩行群は運動による腓腹筋への収縮・弛緩といった刺激が多く、その結果、筋線維の直径が増大したことが考えられる。一方で、立位群は実用的な移動が車いすであるため、運動量、および運動による腓腹筋への刺激が少ないことが、筋厚の低下を生じたと考えられる。

痙直歩行群、アテ歩行群、健常者の比較では、健常者、アテ歩行群、痙直歩行群の順で筋厚が大きいことが示された。痙直型は歩行可能な人であっても、下肢の筋緊張の高さやバランスの問題などの影響によって、歩行による移動距離が短いと思われる。したがって、この結果は日常生活内の歩行距離の量による影響が大きいと思われる。

本研究の結果と先行研究と比較して成人 CP の筋厚の特徴を考察する。先行研究によると、6.6 歳の健常幼児の筋厚は 1.1cm⁵⁴⁾、10 歳の痙直型片麻痺の麻痺側の筋厚は 1.00～1.08cm であった¹²⁾。本研究の健常者の筋厚は 2.1cm であり、先行研究の幼児よりも約 2 倍の値を示したが、本研究の成人痙直型の筋厚は 1.2cm であり、2 次成長前の 10 歳とはほぼ変わらない結果であった。

健常者は成長・発達に伴い筋線維の直径が増加し、筋厚が増加する。一方で痙直型は成長して体格が大きくなるにもかかわらず、10 歳以降は腓腹筋内側頭の筋厚が変わらない。したがって痙直型の筋線維の直径は、子どもの頃からあまり変化していない可能性がある。もしくは痙縮筋に対する筋生検の先行研究⁵¹⁾によると、痙縮筋は筋線維の直径の変動が大きいと報告されており、その可能性も考えられる。

痙直型脳性麻痺の先行研究では、筋力は生理学的断面積と相関し、筋厚は筋の生理学的断面積と高い相関を示しているとされる。したがって超音波画像による筋厚評価は筋力変化の測定に代替使用している¹⁴⁾。痙直型の筋厚は健常者の 57.1%であるということは、距離×距離で示される筋の生理学的断面積は 57.1%以上の減少であることが明らかである。また筋腹率の減少も考慮すると、痙直型の腓腹筋内側頭の筋力は健常者やアテトーゼ型と比較して、かなりの低下が考えられる。

成人の痙直型の筋厚は子どもの頃から変化していない可能性がある。これは痙直型 CP の特徴的な成長・発達課程を示している可能性があり、小学校高学年以降の粗大運動発達の停滞、また成人期の運動機能低下の原因の一つである可能性も考えられる。

VII-2-ii 筋束長と正規化した筋束長

痙直型の筋束長は、アテトーゼ型と健常者よりも有意に減少しており、RP ではアテトーゼ型、健常者の約 50%であった。また MDF、0°、MPF においても同様な結果であった。さらにアテトーゼ型と健常者は差が認められなかった。痙直型、アテトーゼ型、健常者すべてで足関節が背屈になるにつれて筋束長は増加し、底

屈位になるにつれて減少していた。ただし MDF-MPF の値から求めた筋束長の変化、痙直型 1.1cm、アテトーゼ型 1.9cm、健常者 2.6cm となり健常者が最も大きい値を示した。以上の結果は正規化した筋束長でも同様であった。

痙直型の筋束長が減少していたのは、筋束およびそれを構成する筋線維の短縮が原因と考えられる。またアテトーゼ型の筋束長は健常者と似た値であった。

痙直型とアテトーゼ型に対する歩行群と立位群での比較は、有意な差がなく、両型ともに運動機能と筋束長は関連がないことが示された。またアテ歩行群と健常者の筋束長は似た値を示した。これは、健常者とアテトーゼ型は足関節の ROM 範囲に差がないことが最も影響していると考えられる。アテトーゼ型の不随意運動は筋の収縮・弛緩を絶えず行い、固定されないといった障害の特性も要因であると考えられる。

先行研究の筋束長の結果では、CP(平均 7.8 歳)は RP で 3.18cm、 -30° で 3.83cm であった⁵⁴⁾。本研究の足関節の設定角度には違いがあるが、本研究では RP で 2.52cm となり、身長が低いと思われる子どもよりも、実測値が明らかに減少している。また 0° では、健常児(平均 7.6 歳)は 4.99cm、成人は 5.89cm だった。本研究の健常者は 6.12cm であり、子どもから大人に成長するとともに筋束長は増加している。つまり健常者は成長とともに筋束長が増加するが、痙直型の筋束長は減少することが示唆された。

また先行研究では、CP 児と健常児の筋束長と正規化した筋束長は、変化なしと減少していると結果の方向性が二分していた。しかし本研究では、痙直型の筋束長が減少する結果であった。しかも痙直型の子どもよりも成人の方が筋束長の実測値で減少していることが先行研究の結果との比較で示された。

動物実験によると、筋線維はその長さを変えることによって、その状態に適応することが報告されている⁵⁵⁾。伸張した位置の固定では連続しているサルコメアが増加し、また短縮した位置での固定では、サルコメア長が減少するとされている⁵²⁾。

CP も同様な変化が考えられ、CP は子どもから成人へ成長するにつれて、足関節の可動域制限が増加する。その制限がサルコメアの減少、筋線維の短縮を作り出している可能性がある⁵⁶⁾。そして痙直型の筋束長はアテトーゼ型と健常者の筋束長よりも明らかに減少し、かつ子どもの頃よりも筋束長が減少するという特徴が示唆された。

以上の成人の痙直型 CP の筋束長の減少は新しい知見であり、この特徴が痙直型の成人以降の運動に影響を与えていると考えられる。ただし通常長い筋線維を有する筋の方が、短い筋線維を有する筋より長い機能的可動範囲を有する⁵¹⁾。筋束長は足関節の底背屈角度、及び外力の影響を受ける。本研究では対象者間で足関節の角度が異なるため、その点を注意した解釈が必要である。

Ⅶ－２－Ⅲ 羽状角

痙直型の羽状角は健常者より増加し、アテトーゼ型は健常者より減少していた。

さらに痙直型、アテトーゼ型に対する歩行群と立位群の比較では、有意な差が認められなく、運動機能による差はなかった。また痙直歩行群、アテ歩行群、健常者の比較では、痙直歩行群とアテ歩行群では痙直歩行群の方が羽状角は大きく、アテトーゼ型と健常者には **MDF** 以外は有意な差が認められなかった

通常、羽状角は腱に平行であれば筋線維によって発生した力が腱を介して伝達する。しかし角度が大きくなるほど、筋線維にて発生した力よりも小さい力しか伝達しないとされている⁴⁴⁾。痙直型の羽状角が、随意的な筋活動の時ではなく、安静時で大きいということは、筋線維で発生した力が伝わりづらいことを示している。さらには、筋束長が短く、筋厚が小さく、筋腹長の減少も加えると、随意的な足関節底屈筋力の低下、および足関節の背屈から底屈への運動が困難であるだろう。痙直型の障害像から考えると、立位・歩行中の足関節は底屈位であり、腓腹筋が常に収縮した状態である。足関節は背屈せずに、常に底屈位であることも多い。この状態は、足関節底屈筋力の低下に対して、筋を過剰に固定したり、筋の結合組織を強固にすることにより、足関節を安定させる代償動作である可能性も考えられる。

羽状角に関する先行研究では、Wren は RP での手術前の痙直型は $23.8 \pm 5.3^\circ$ 、健常児は $17.9 \pm 2.5^\circ$ であった¹²⁾。本研究では痙直型は 28.2° 、健常者は 23.2° であった。また Legerlotz ら⁵⁴⁾の健常児（平均 6.6 歳）の 0° での値は 15.7° であった。本研究の痙直型は 23.8° であった。健常者であれば、筋線維、筋束の直径の増加による筋厚の増加につれて、羽状角が増加した可能性が考えられる。しかし痙直型は筋厚が増加していないため、筋の伸張性の低下を示めしている可能性がある。また痙直型は足関節背屈の可動域制限があるため、筋が伸張されていない可能性がある。つまり羽状角は、筋の伸張に伴う角度の減少が制限されているため、筋収縮を腱に伝達しやすい状態までならないと考えられる。このようなことが積み重なり、痙直型は筋線維の短縮や不動性が増加する可能性が考えられる。

アテトーゼ型の羽状角は健常者よりも減少し、一方でアテ歩行群は健常者と変わらないことから、アテトーゼ全体の羽状角の減少傾向は、筋厚の減少が要因であると考えられる。

Ⅶ－３ 考察のまとめ（図 15）

先行研究では、痙直型の筋は、筋緊張亢進と関節可動域制限によって筋線維長が減少しているとしている⁵⁶⁻⁵⁸⁾。つまり本研究の筋束長の減少は、筋線維長の減少の結果として考えられる。そして痙直型の筋束長の減少と羽状角の増加といった筋構造は、通常、羽状筋が筋収縮したときと類似している⁴⁵⁾。したがって痙縮による筋の持続的な求心性収縮、もしくは筋の短縮が原因であると考えられる。

しかも通常、この筋の構造状態から、さらに筋線維、筋束で収縮して、筋力を発揮することは極めて困難であることが予想される。また筋厚も低下している。つまり痙直型の腓腹筋内側頭は、筋の形態と構造の結果から、随意的な筋収縮、および筋力の発揮が困難であることが予想される。

さらに痙直型の場合、子どもの頃から成人までの間において、筋厚はほとんど変化せず、羽状角が増加する特徴が示された。これらの結果は、超音波画像を使用した先行研究では、まだ報告されていない新しい知見である。

アテトーゼ型の特徴は健常者と比較すると、筋厚の減少、筋束長は変化なし、羽状角の減少がみられた。さらに痙直型より筋厚と筋束長の増加と羽状角の減少しており、健常者と痙直型の中間、もしくは同様である特徴を示した。アテトーゼ型の主な障害は不随意運動であり、持続的かつ画一的な筋緊張亢進がない。そして筋厚の減少は筋線維の太さの減少、筋量の減少によるものであり、さらには羽状角の減少を引き起こしている。一方で筋束長は健常者とほとんど変わらない。

この特徴は先行研究⁵⁹⁾と比較すると、健常者の筋萎縮状態と類似している。つまりアテトーゼ型の筋構造の特徴は、健常者の筋構造と大変似ているが、筋線維の太さの減少、筋量の減少を示している可能性が高い。以上の結果は先行研究において、報告されていない新しい知見である。

アテトーゼ型は不随意運動により、立位や歩行のバランスが低下しているため、日常生活の活動量は健常者より減少し、筋量の減少を引き起こしていると考えられる。但し本研究のアテトーゼ型の年齢は 42.4 ± 9.4 才であり、痙直型よりも若干年齢が高い。超音波画像を使用した高齢者の腓腹筋に対する先行研究によると、加齢に伴い、筋厚は減少すると報告している⁶⁰⁾。この加齢による筋厚の減少、筋量の減少はサルコペニアといわれる⁶¹⁾。しかしサルコペニアは明らかな病態による廃用とは区別すべきであり、アテトーゼ型は厳密にはサルコペニアではない。しかしCPのような日常生活での活動量が少ない人は、サルコペニアによる筋量の減少も加わり、一層の筋量の減少が考えられる。本研究ではこの影響も少なからず考えられるであろう。

VIII 研究結果を踏まえた理学療法プログラムと今後の展望

CPは乳幼児期から定期的に理学療法をしている人が多い。そのような状況においても、痙直型は尖足位になることが多く、その結果、立位・歩行のバランスが大変不安定となる。したがって腓腹筋の収縮や伸張性を配慮した理学療法プログラムが重要である。

本研究の結果からCPの腓腹筋に対する理学療法をするのであれば、痙直型は腓腹筋の筋腹を伸張し痙縮を減弱すること、また腓腹筋の拮抗筋である前脛骨筋をはじめとする足関節背屈筋の求心性収縮と、腓腹筋の遠心性収縮を促す方法が考えられる。しかし関節運動を伴う筋伸張の場合、可動域制限により筋の実質的な伸張はできないことが予想される。したがって、関節の可動域制限が少ない幼少期に、しっかりと筋の伸張性を確保しておかなければ、成人期以降の理学療法介入は大変困難となるであろう。もし成人期以降であれば、関節運動を伴わずに、筋に直接的にアプローチできる物理療法が効果的かもしれない。物理療法の中でも、低周波療法といった電気刺激を使用した筋収縮と弛緩の繰り返しや、

主動作筋と拮抗筋を交互に刺激して筋収縮させる方法が考えられる。その運動は視覚的フィードバックを行いながら、痙直型の運動様式を学習させることが必要であると考えられる。いずれの方法も足関節の可動域を確保しながら実施することが重要である。

アテトーゼ型は、腓腹筋の筋線維の太さだけが減少しているとは考えられず、おそらく全身的な現象であることが予想される。従来からのアテトーゼ型の理学療法は、不随意運動を抑制することやバランスの向上が多くなされているため、運動量を考慮した理学療法は行われていない。またアテトーゼ型は筋骨格系の不安定性から、成人期に頸椎症や腰痛といった二次障害を有する人が多くなってくる。二次障害を考慮しつつ、活動量を多くするような日常生活、筋線維の肥大を目的とした理学療法が効果的であると考ええる。

CPの下腿三頭筋の筋緊張亢進に対する治療は、手術療法、薬物療法の一種であるボツリヌス毒素療法^{5,62)}、筋のストレッチといった理学療法等がある。治療の目的は筋の伸張性の増加と筋緊張の減弱、生体力学的アライメントを改善である。しかし、例えば手術後の拘縮の再発^{57,63,64)}や、腓腹筋切離またはアキレス腱延長の41%以上が再発しているとの報告もある。つまり、治療効果は短期間に限局されており、再発も見られる状況である。そして治療効果の評価は、ROMや筋の緊張状態の評価としてMAS^{20,30)}とMTS³¹⁻³⁴⁾、歩行パターンや運動機能、筋のトルク値で行っている³³⁾。しかも治療効果は、上記治療による筋自体の変化は明らかではない^{61,65)}。治療効果を引き出すためには、事前の治療適応の検討が重要である。さらには神経系に起因する痙縮と筋の伸張性が低下した短縮についての詳細な評価が必要である。

以上のことから腓腹筋の筋構造・形態の評価を臨床評価として導入し、CPの治療介入の充実を図る必要があると考える。

IX 研究の限界

本研究は横断的な評価研究である。つまり本研究で成人CPの筋形態・構造の変化と特徴が確認されたが、どの時期に現在の状態となるかは不明である。また本研究では先行研究との比較で、子どもと成人の違いと特徴について考察した。これについても先行研究との横断的な比較であるため、幼少期からの長期的かつ縦断的な研究が必要である。

研究対象者である痙直型・アテトーゼ型は健常者よりも、身長、体重、下腿長ともに低下していた。この身体の長軸方向の体格差については、補正として筋腹率、正規化した筋束長を算出したものの、他の値とその解釈については検討の余地があると考えている。

また痙直型はアテトーゼ型、健常者よりも低年齢であった。これはここ30年くらいの医療の進歩に伴う、医療現場の変化の影響がある。正確な結果を導き出す

ためには、対象者年齢に差がないことが望ましい。本研究では年齢差があることを考慮して結果を解釈しなければならない。

本研究は他動的に足関節を底背屈にして評価した。痙直型は可動域制限、ならびに可動域の範囲が制限されており、その原因として筋以外の靭帯など軟部組織や関節運動面の問題があることが考えられる。したがって筋自体の最大の伸張と弛緩状態とは必ずしもいえない可能性があることを考慮する必要がある。

本研究では痙直型 CP とアテトーゼ型 CP に対して腓腹筋内側頭の特徴を示した。ただし、このような特徴は他の筋についても同様な結果となるかは不明である。したがって成人 CP の身体特徴をより詳細に把握するためには、他の筋に対する研究も必要であると考ええる。

X 結語

1. 成人の痙直型 CP 者、アテトーゼ型 CP 者、健常者に対して腓腹筋内側頭の筋構造・形態の特徴について研究した
2. 痙直型は、健常者とアテトーゼ型と比較して、筋腹長が短く、アキレス腱長が長く、また筋腹率、筋厚、筋束長の減少、羽状角が有意に増加していた。
3. 痙直型は先行研究の子どもの結果と比較して、筋腹率、筋厚は変化なし、筋束長は減少、羽状角は増加していた。
4. 痙直型の筋形態・構造は立位群と歩行群で差がなく、運動機能には関連はなかった。
5. アテトーゼ型は、健常者と比較すると筋腹率の減少、筋厚の減少、筋束長は同じ、羽状角は減少していた。
6. アテトーゼ型の筋形態・構造は立位群と歩行群で差があることから、運動機能や活動量に影響されると考えられる。

XI 引用・参考文献一覧

- 1) 厚生省特別研究：「脳性小児麻痺の成因と治療に関する研究」, (班長 高津忠夫) 昭和 43 年度第 2 回班会, 1969
- 2) Surveillance of cerebral palsy in Europe: a collaboration of cerebral palsy surveys and registers. Surveillance of Cerebral Palsy in Europe (SCPE). Dev Med Child Neurol 42 (12): 816-824. 2000
- 3) Barnes M. P. Johnson G.R.(ed): Upper Motor Neurone Syndrome and Spasticity. Clinical Management and Neurophysiology (2nd edition). Cambrige Univ Press.2008, p1-2
- 4) Scholtes V. A., Becher J. G., Beelen A., et al. : Clinical assessment of spasticity in children with cerebral palsy: a critical review of available instruments. Dev Med Child Neurol 48 (1): 64-73, 2006
- 5) Koman L. A., Mooney J. F. III., Smith B. P., et al. : Management of cerebral palsy with botulinum-A toxin: preliminary investigation. J Pediatr Orthop; 13 (4): 489-495. 1993
- 6) 松尾 隆：脳性麻痺の整形外科的治療. 創風社. 東京. p154- 155
- 7) Sandstrom K., Alinder J., Oberg B.: Descriptions of functioning and health and relations to a gross motor classification in adults with cerebral palsy. Disabil Rehabil 26 (17): 1023-1031, 2004
- 8) Hanna S. E., Rosenbaum P. L., Bartlett D. J., et al. : Stability and decline in gross motor function among children and youth with cerebral palsy aged 2 to 21 years. Dev Med Child Neurol 51 (4): 295-302, 2009
- 9) Shortland A. P., Harris C. A., Gough M., et al.: Architecture of the medial gastrocnemius in children with spastic diplegia. Dev Med Child Neurol 44 (3): 158-163, 2002
- 10) Mohagheghi A. A., Khan T., Meadows T. H., et al. : Differences in gastrocnemius muscle architecture between the paretic and non-paretic legs in children with hemiplegic cerebral palsy. Clin Biomech 22 (6): 718-724, 2007
- 11) Barber L., Hastings-Ison T., Baker R., et al. : Medial gastrocnemius muscle volume and fascicle length in children aged 2 to 5 years with cerebral palsy. Dev Med Child Neurol 53 (6): 543-548, 2011
- 12) Wren T. A., Cheatwood A. P., Rethlefsen S. A., et al. : Achilles tendon length and medial gastrocnemius architecture in children with cerebral palsy and equinus gait. J Pediatr Orthop 30 (5): 479-484, 2010
- 13) Kawakami Y., Abe T., Fukunaga, T. : Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. J Appl Physiol 74 (6): 2740-2744. 1993
- 14) Ohata K, Tsuboyama T, Haruta T, et al. : Relation between muscle thickness, spasticity, and activity limitations in children and adolescents with cerebral palsy.

- Dev Med Child Neurol, 50 (2): 152–156, 2008
- 15) Moreau N. G., Teefey S. A., Damiano D. L., et al.: In vivo muscle architecture and size of the rectus femoris and vastus lateralis in children and adolescents with cerebral palsy. Dev Med Child Neurol 51(10): 800-806, 2009
 - 16) Barrett R. S., Lichtwark G. A. : Gross muscle morphology and structure in spastic cerebral palsy: a systematic review. Dev Med Child Neurol 52(9): 794-804, 2010
 - 17) Benard M. R., Becher J. G., Harlaar J., et al. : Anatomical information is needed in ultrasound imaging of muscle to avoid potentially substantial errors in measurement of muscle geometry. Muscle Nerve 39(5): 652-665, 2009
 - 18) Palisano R., Rosenbaum P., Walter S., et al. : Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. Dev Med Child Neurol, 39 (4): 214-223, 1997
 - 19) Fry N. R., Gough M., Shortland A. P.: Three-dimensional realisation of muscle morphology and architecture using ultrasound. Gait Posture. 20 (2) :177-182. 2004
 - 20) O'Shea T. M., Preisser J. S., Klinepeter K. L., et al. : Trends in mortality and cerebral palsy in a geographically based cohort of very low birth weight neonates born between 1982 to 1994. Pediatrics 101(4 Pt 1): 642-647. 1998
 - 21) Koman L. A., Smith B. P., Shilt J. S. : Cerebral palsy. Lancet 363(9421): 1619-1631. 2004
 - 22) Paneth N. : Etiologic factors in cerebral palsy. Pediatr Ann 15. 194–195. 1986
 - 23) Evans P. M., Evans S. J., Alberman E. : Cerebral palsy: why we must plan for survival. Arch Dis Child 65(12): 1329-1333. 1990
 - 24) Crichton J. U., Mackinnon M., White C. P., et al. : The life-expectancy of persons with cerebral palsy. Dev Med Child Neurol 37 (7) : 567-576. 1995
 - 25) 丸石 正治, 黒瀬 靖郎, 片山昭太郎 : 成人脳性麻痺の臨床像 痙性と筋力の影響. リハビリテーション医学 42 (8) : 564-572, 2005
 - 26) Zaffuto-Sforza C. D. : Aging with cerebral palsy. Phys Med Rehabil Clin N Am 16 (1): 235-249, 2005
 - 27) 梶浦一郎 : 脳性麻痺の二次障害. 総合リハ26 : 309–313, 1998
 - 28) Hagglund G., Wagner P. : Spasticity of the gastrosoleus muscle is related to the development of reduced passive dorsiflexion of the ankle in children with cerebral palsy: a registry analysis of 2,796 examinations in 355 children. Acta Orthop 82(6), 744-748, 2011
 - 29) Ashworth B. : Preliminary trial of carisoprodol in multiple sclerosis. Practitioner 192:540-542, 1964
 - 30) Bohannon R.W., Smith M.B: Inter rater reliability of a modified Ashworth Scale of muscle spasticity. Phys Ther 67: 206-207, 1987
 - 31) Tardieu G., Sheutoub S., Delarue R. : Research on a technic for measurement of spasticity . Rev Neural 91(2) : 143-144, 1954

- 32) Haugh A. B., Pandyan A. D., Johnson G. R., et al. : A systematic review of the Tardieu Scale for the measurement of spasticity. *Disabil Rehabil.* 28 (15): 899-907, 2006
- 33) Alhusaini A. A., Dean C. M., Crosbie J., et al. : Evaluation of spasticity in children with cerebral palsy using Ashworth and Tardieu Scales compared with laboratory measures. *J Child Neurol.* 25(10): 1242-7, 2010
- 34) 横井裕一郎, 小塚 直樹, 土岐めぐみ 他 : 脳性麻痺の足関節底屈筋群に対するModified Tardieu Scaleによる筋緊張評価と発達・加齢、粗大運動機能の関係. *札幌保健科学雑誌*(1): 71-77, 2012
- 35) Lance J. W. Symposium synopsis. In: Feldman R.G., Young R.R., Koella W.P., editor. *Spasticity: disorder of motor control.* Year Book Medical Chicago. 1980, p485-494
- 36) 松本 英之, 宇川 義一 : 痙縮の臨床徴候・神経生理学的評価および薬物治療. *BRAIN and NERVE* 60(12): 1409-1414, 2008
- 37) Graham H.K., Selber P. : Musculoskeletal aspects of cerebral palsy. *J Bone Joint Surg Br* 85 (2) : 157-166, 2003
- 38) 沖田 実 : 関節可動域制限. 東京, 三輪書店, 2008, p14-15, 89-92
- 39) Barber L., Barrett R., Lichtwark G., et al. : Validity and reliability of a simple ultrasound approach to measure medial gastrocnemius muscle length. *J Anat* 218 (6): 637-642, 2011
- 40) 鈴木 重行 : ストレッチングの科学. 三輪書店. 東京. p100-101
- 41) 筋骨格画像研究会 : 超音波による骨・筋・関節の観察. 南山堂, 2006, p5-6
- 42) Maganaris C. N., Baltzopoulos V., Sargeant A. J. : In vivo measurements of the triceps surae complex architecture in man: implications for muscle function. *J Physiol* 512 (Pt 2): 603-614, 1998
- 43) Gans C, de Vree F. : Functional Bases of fiber length and angulation in muscle. *J Morphol* 192 (1) : 63-85, 1987
- 44) Donald A.N., 嶋田智明, 有馬慶美 (監訳) : 筋骨格系のキネシオロジー. 東京, 医歯薬出版株式会社, 2012 p44-47
- 45) 山田茂, 福永哲夫 : 骨格筋 運動による機能と形態の変化. 東京, ナップ, 1997
- 46) Jethwa A., Mink J., Macarthur C., et al. : Development of the Hypertonia Assessment Tool (HAT): a discriminative tool for hypertonia in children. *Dev Med Child Neurol.* 52 (5) , 83-87. 2010
- 47) 横井裕一郎, 小塚直樹, 松山敏勝 : 脳性麻痺者に対する超音波画像を使用した内側腓腹筋長の測定再現性. *理学療法科学* 29 (2), 2014 (in press)
- 48) 横井裕一郎, 小塚直樹, 松山敏勝 : 成人脳性麻痺者の腓腹筋内側頭に対する超音波画像を用いた筋構造評価の再現性. *札幌保健科学雑誌*(3), 2014 (投稿中)

- 49) 宮本友弘, 山際勇一郎, 田中 敏 : 要因計画の分散分析において単純主効果検定に使用する誤差項の選択について. 心理学研究 62 (3) : 207- 211, 1991
- 50) Bailey D.M., 朝倉隆司 (監訳) : 保健・医療のための研究法入門. 協同医書出版社, 2001, p26-30
- 51) Lieber R.L, 望月久 (監訳) : 骨格筋の構造・機能と可塑性. 医歯薬出版株式会社, 2013, p303-316
- 52) Williams P.E. Goldspink G. : Changes in sarcomere length and physiological properties in immobilized muscle. *Journal of Anatomy* 127 (Pt3) : 459–468. 1978
- 53) Jager K. W., Moll J. : The development of the human triceps surae ; observations on the ontogenetic formation of muscle architecture and skeletal attachments. *J Anat* 85 (4): 338-349, 1951
- 54) Legerlotz K., Smith H.K., Hing W.A. : Variation and reliability of ultrasonographic quantification of the architecture of the medial gastrocnemius muscle in young children. *Clin Physiol Funct Imaging* 30 (3): 198-205. 2010
- 55) Tabary J.C., Tabary C., Tardieu C. Physiological and structural changes in the cat's soleus muscle due to immobilization at different lengths by plaster cast. *Journal of Physiology* 224 (1) : 231–244. 1972
- 56) O'Dwyer N.J., Neilson P.D., Nash J.: Mechanisms of muscle growth related to muscle contracture in cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 31 (4) : 543–547. 1989
- 57) Foran J. R., Steinman S., Barash I., et al. : Structural and mechanical alterations in spastic skeletal muscle. *Dev Med Child Neurol* 47 (10) : 713–717. 2005
- 58) Sala D. A., Grant A. D., Kummer F. J.. : Equinus deformity in cerebral palsy: recurrence after tendo Achillis lengthening. *Dev Med Child Neurol.* 39:45–48. 1997
- 59) Morse C. I., Thom J. M., Birch K. M., et al : Changes in triceps surae muscle architecture with sarcopenia. *Acta Physiol Scand.* 183(3) : 291-298. 2005
- 60) Fujiwara K, Asai H, Toyama H, et al : Changes in muscle thickness of gastrocnemius and soleus associated with age and sex. *Aging Clin Exp Res.* 22(1): 24-30. 2010
- 61) Doherty T.J. : Invited review Aging and sarcopenia. *J Appl Physiol* 95: 1717-1727, 2003
- 62) Alhusaini A. A., Crosbie J., Shepherd R. B. ,et al. : No change in calf muscle passive stiffness after botulinum toxin injection in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 53 (6): 553-558. 2011
- 63) Rattey T. E., Leahey L., Hyndman J., et al. Recurrence after Achilles tendon lengthening in cerebral palsy. *J Pediatr Orthop.* 13 (2) : 184–187. 1993
- 64) Borton D. C., Walker K., Pirpiris M., et al. : Isolated calf lengthening in cerebral palsy. Outcome analysis of risk factors. *J Bone Joint Surg Br.* 83(3): 364–370. 2001
- 65) Koman L. A., Mooney J. F. III. , Smith B. P. , et al. : Botulinum toxin type A

neuromuscular blockade in the treatment of lower extremity spasticity in cerebral palsy : a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. BOTOX Study Group. J Pediatr Orthop 20 (1): 108-115. 2000

結果の図表一覧

表 1 対象者の一覧

	痙直型	アテトーゼ型	健常者
年齢 [歳]	25.8±2.7※	42.4±9.4	39.5±10.8
移動方法 [名]	歩行 11、立位 9	歩行 11、立位 9	歩行 20
性別 [名]	男性 16 女性 4	男性 14 女性 6	男性 14 女性 6
手術 [名]	14	1	0
身長 [cm]	157.8±6.2	155.4±6.0	167.4±8.8◎
体重 [kg]	55.1±10.9	49.6±8.3	62.4±13.4◎
下腿長 [cm]	35.2±2.1	35.0±1.9	37.4±2.9◎

※ 痙直型とアテトーゼ型・健常者に有意な差あり (p<0.001)

◎ 健常者と痙直型・アテトーゼ型に有意な差あり (p<0.05)

表 2 足関節の底背屈角度

(°)	痙直型	アテトーゼ型	健常者
RP	-32 (8.9)	-33.5 (9.3)	-23(5.5)◎
MDF	-4.5 (8.7)※	6.3(10.6)	11.8 (4.9)
MPF	-54.3 (8.9)	-56.5 (6.5)§	-49.8 (8.3)
MDF- MPF	49.8 (10.1)※	62.7 (11.5)	61.5 (10.9)

(SD : Standard Deviation)

RP : Resting Position, MDF : Maximun Dorsi Flexion, MPF : Max Plantar Flexion

※ 痙直型とアテトーゼ型・健常者に有意な差あり (p<0.001)

◎ 健常者と痙直型・アテトーゼ型に有意な差あり (p<0.001)

§ アテトーゼ型と健常者に有意な差あり (p<0.05)

表 3 各足関節位置における筋腹長

(mm)	痙直型	アテトーゼ型	健常者
RP	153 (18) [☆]	179.5 (23.5)	221.7 (22.1)
MDF	165.4 (18.8) ^{☆●}	196.7 (23.2) [●]	238 (23.1) [●]
0°	169.9 (23) [☆]	198.4 (17.7)	231.5 (23.7)
MPF	147.4 (15.4) [☆]	172.2 (21.2)	206.8 (18.7)
MDF－MPF	18.0 (7.7) [☆]	24.4 (8.1)	31.2 (9.2)

(SD : Standard Deviation)

RP : Resting Position 、 MDF : Maximun Dorsi Flexion 、 MPF : Max Plantar Flexion

☆ 痙直型、アテトーゼ型、健常者すべてに有意な差あり ($p < 0.05$)

● MDF と MPF の間に有意な差あり ($p < 0.001$)

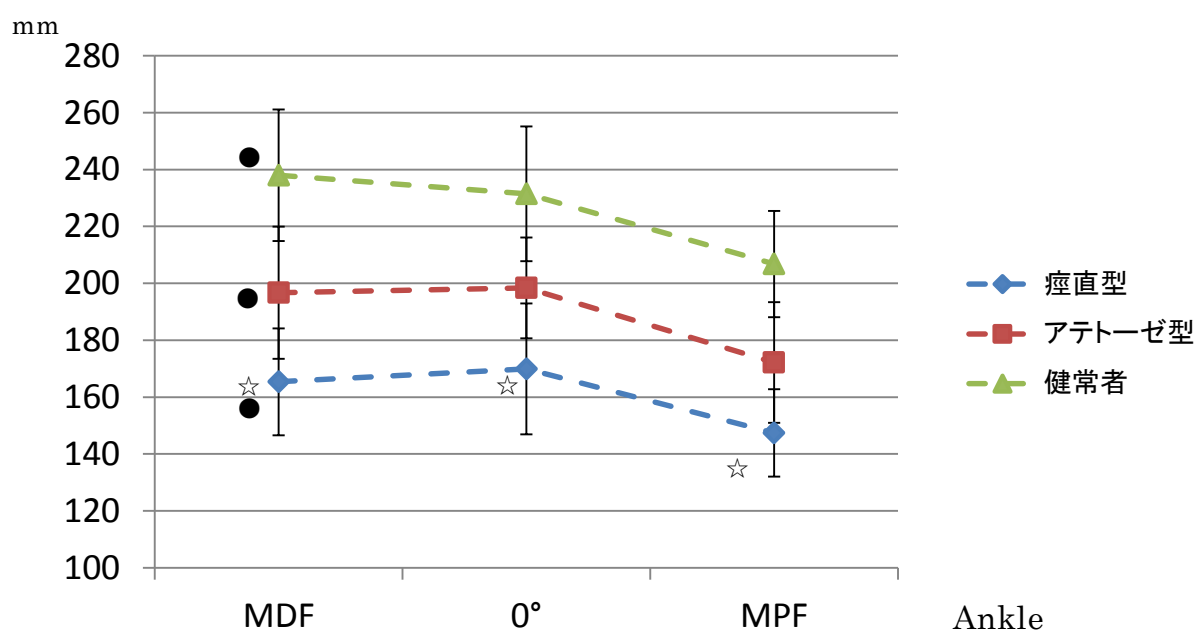


図 7 MDF、0°、MPF と筋腹長の関係

☆ 痙直型、アテトーゼ型、健常者すべてに有意な差あり ($p < 0.05$)

● MDF と MPF の間に有意な差あり ($p < 0.001$)

表 4 各足関節位置におけるアキレス腱長

(mm)	痙直型	アテトーゼ型	健常者
RP	184.6 (20.1) [※]	160.6 (20.1)	160.5 (18.9)
MDF	186.7 (20.0) ^{※●}	163.5 (18.0) [●]	163.8 (19.2) [●]
0°	188.3 (24.1) [※]	161.9 (20)	163.3 (20.3)
MPF	180 (19.5) [※]	155.5 (20)	156.3 (19.6)
MDF－MPF	6.7 (3.9)	8.0 (7.1)	7.6 (5.4)

(SD : Standard Deviation)

RP : Resting Position 、 MDF : Maximun Dorsi Flexion 、 MPF : Max Plantar Flexion

※ 痙直型とアテトーゼ型、痙直型と健常者に有意な差あり ($p < 0.05$)

● MDF と MPF の間に有意な差あり ($p < 0.001$)

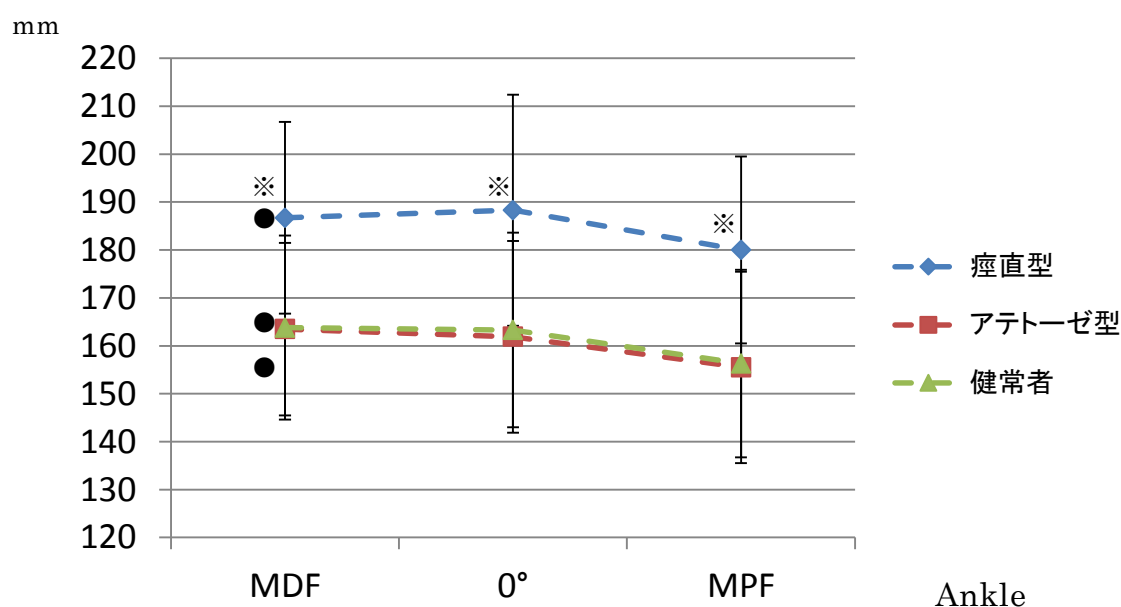


図 8 MDF、0°、MPF とアキレス腱長の関係

※ 痙直型とアテトーゼ型、痙直型と健常者に有意な差あり ($p < 0.05$)

● MDF と MPF の間に有意な差あり ($p < 0.001$)

表 5 各足関節位置における腓腹筋長

(mm)	痙直型	アテトーゼ型	健常者
RP	337.6 (25.3)	340.1 (22.7)	382.1 (24.5)◎
MDF	352.1 (28.4)●	360.2 (23.5)●	401.8 (24.8)◎●
0°	358.2 (34.7)	360.3 (20.2)	394.9 (27)◎
MPF	327.4 (23.8)	327.8 (22.2)	363.1 (25.4)◎
MDF-MPF	24.7 (8.1)	32.4 (9.4)	38.7 (2.1)◎

(SD : Standard Deviation)

RP : Resting Position 、 MDF : Maximun Dorsi Flexion 、 MPF : Max Plantar Flexion

◎ 痙直型と健常者、アテトーゼ型と健常者に有意な差あり ($p < 0.05$)

● MDF と MPF の間に有意な差あり ($p < 0.001$)

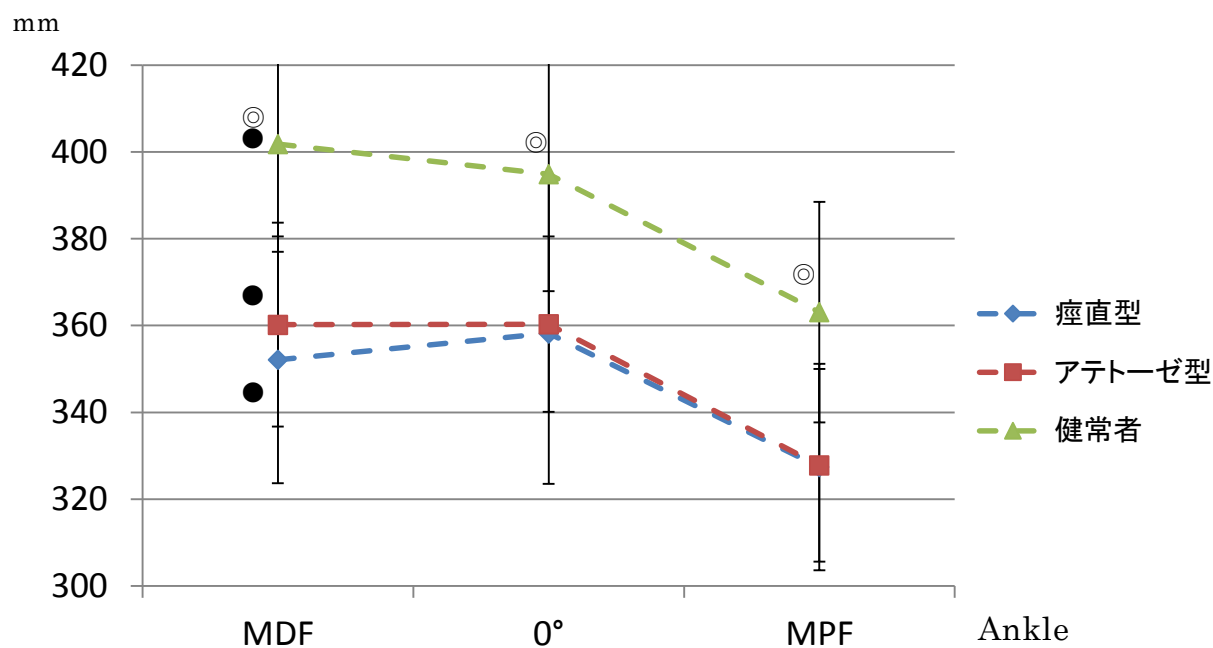


図 9 MDF、0°、MPF と腓腹筋長の関係

◎ 痙直型と健常者、アテトーゼ型と健常者に有意な差あり ($p < 0.05$)

● MDF と MPF の間に有意な差あり ($p < 0.001$)

表 6 各足関節位置における筋腹率

(%)	痙直型	アテトーゼ型	健常者
RP	45.3 (4.3) [☆]	52.7 (5.5)	58 (4.2)
MDF	47 (3.8) ^{☆●}	54.5 (4.7) [●]	59.2 (4.2) [●]
0°	47.4 (4.7) [☆]	55.1(4.4)	58.6 (4.3)
MPF	45.1(3.9) [☆]	52.5 (5.2)	57 (3.9)
MDF－MPF	1.9 (1.3)	2.0 (2.0)	2.2 (1.2)

(SD : Standard Deviation)

☆ 痙直型、アテトーゼ型、健常者すべてに有意な差あり (p<0.05)

● MDF と MPF の間に有意な差あり (p<0.001)

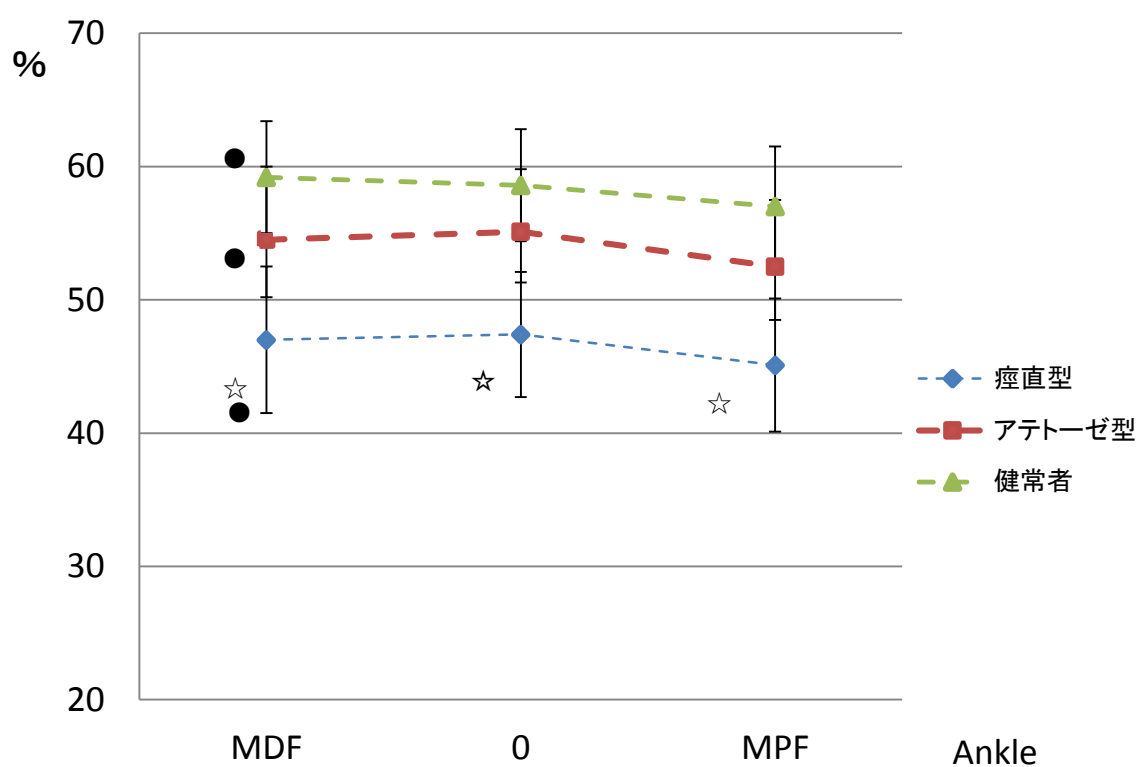


図 10 MDF、0°、MPF と筋腹率の関係

☆ 痙直型、アテトーゼ型、健常者すべてに有意な差あり (p<0.05)

● MDF と MPF の間に有意な差あり (p<0.001)

表 7 各足関節位置における筋厚

(cm)	痙直型	アテトーゼ型	健常者
RP	1.2 (0.3) [☆]	1.6 (0.4)	2.1 (0.2)
MDF	1.3 (0.3) [☆]	1.7 (0.4)	2.1 (0.3)
0°	1.3 (0.3) [☆]	1.7 (0.3)	2.1 (0.3)
MPF	1.2 (0.2) [☆]	1.7 (0.3)	2.1 (0.3)
MDF－MPF	0.05 (0.1)	0.04 (0.1)	0.08 (0.2)

(SD : Standard Deviation)

☆ 痙直型、アテトーゼ型、健常者すべてに有意な差あり ($p < 0.05$)

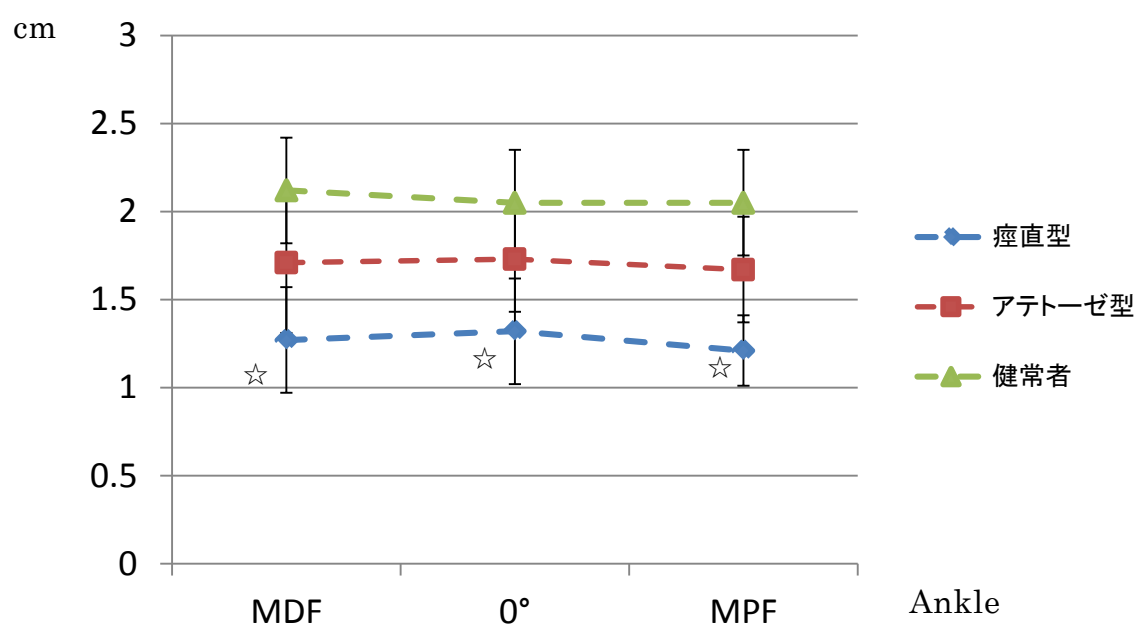


図 11 MDF、0°、MPF と筋厚の関係

☆ 痙直型、アテトーゼ型、健常者すべてに有意な差あり ($p < 0.05$)

表 8 各足関節位置における筋束長

(cm)	痙直型	アテトーゼ型	健常者
RP	2.5 (0.8) [※]	4.9 (0.9)	5.3 (0.8)
MDF	3.3 (1.1) ^{※●}	6.1 (1.1) [●]	6.6 (0.8) [●]
0°	3.2 (1.2) [※]	6.0 (1.0)	6.1 (0.8)
MPF	2.2 (0.6) [※]	4.2 (0.9)	3.9 (0.7)
MDF-MPF	1.1 (0.7) [☆]	1.9 (0.7)	2.6 (0.8)

(SD : Standard Deviation)

※ 痙直型とアテトーゼ型・健常者に有意な差あり ($p < 0.05$)

☆ 痙直型、アテトーゼ型、健常者すべてに有意な差あり ($p < 0.05$)

● MDF と MPF の間に有意な差あり ($p < 0.001$)

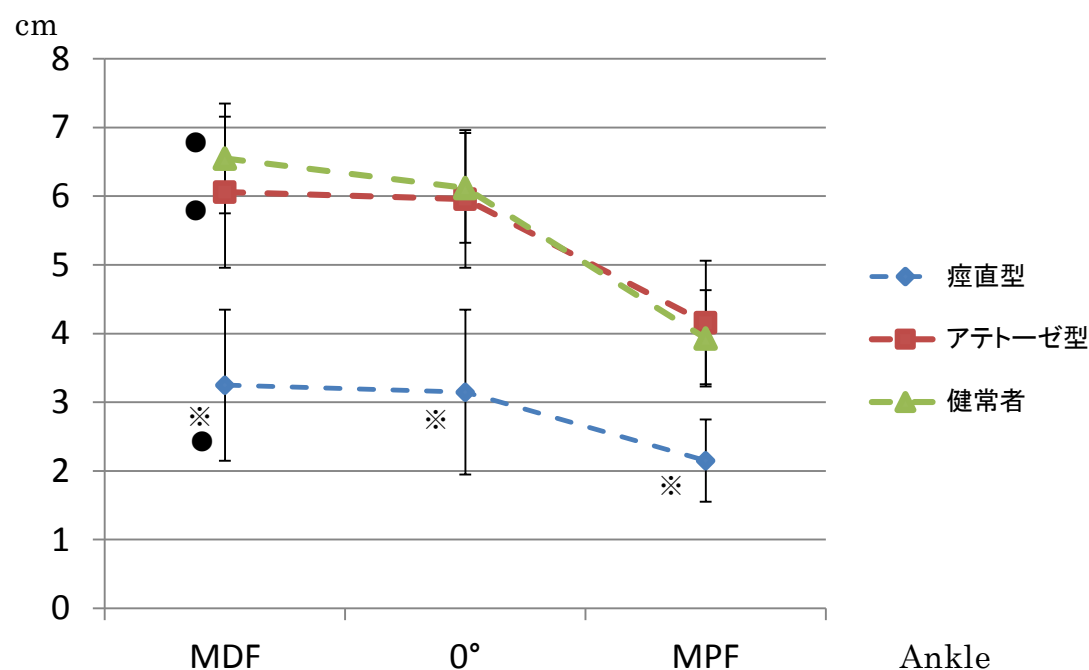


図 12 MDF、0°、MPF と筋束長の関係

※ 痙直型とアテトーゼ型、痙直型と健常者に有意な差あり ($p < 0.05$)

☆ 痙直型、アテトーゼ型、健常者すべてに有意な差あり ($p < 0.05$)

● MDF と MPF の間に有意な差あり ($p < 0.001$)

表 9 各足関節位置における正規化した筋束長

	脛直型	アテトーゼ型	健常者
RP	0.07 (0.19) [※]	0.14(0.03)	0.14 (0.02)
MDF	0.09 (0.03) ^{※●}	0.17(0.03) [●]	0.18 (0.02) [●]
0°	0.09 (0.03) [※]	0.17 (0.03)	0.16 (0.02)
MPF	0.06 (0.02) [※]	0.12 (0.03)	0.11 (0.02)
MDF－MPF	0.03 (0.02) [☆]	0.05 (0.02)	0.07 (0.02)

(SD : Standard Deviation)

※ 脛直型とアテトーゼ型、脛直型と健常者に有意な差あり ($p < 0.05$)

☆ 脛直型、アテトーゼ型、健常者すべてに有意な差あり ($p < 0.05$)

● MDF と MPF の間に有意な差あり ($p < 0.001$)

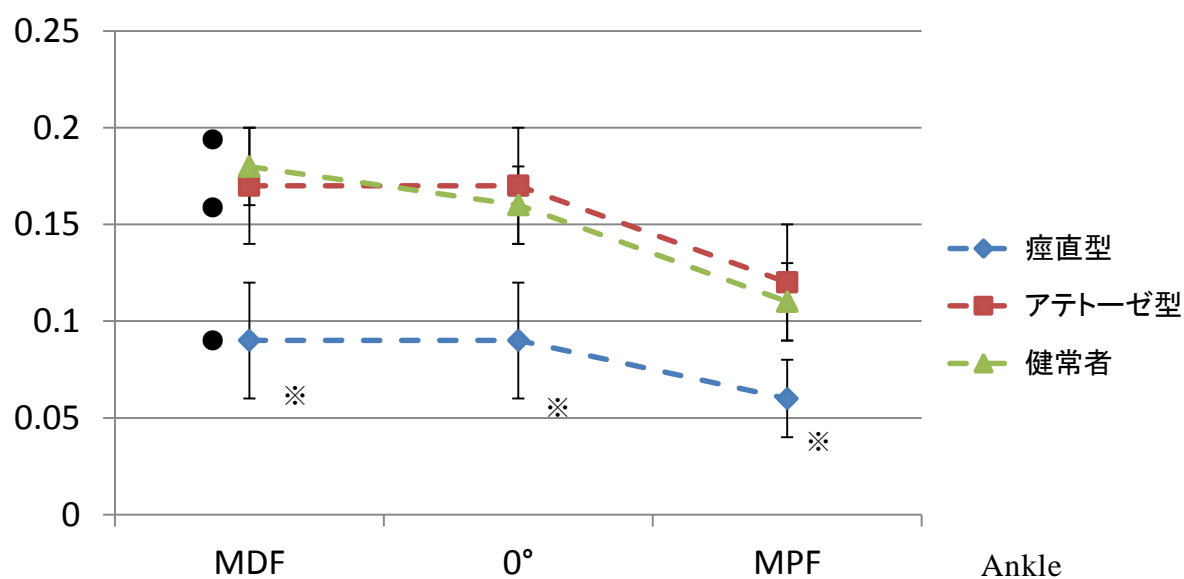


図 13 MDF、0°、MPF と正規化した筋束長の関係

※ 脛直型とアテトーゼ型、脛直型と健常者に有意な差あり ($p < 0.05$)

☆ 脛直型、アテトーゼ型、健常者すべてに有意な差あり ($p < 0.05$)

● MDF と MPF の間に有意な差あり ($p < 0.001$)

表 10 各足関節位置における羽状角

(°)	脛直型	アテトーゼ型	健常者
RP	28.2 (6.2) [☆]	19.8 (4.6)	23.2 (3.2)
MDF	22.0 (4.5) ^{☆●}	14.8 (2.8) [●]	18.2 (3.0) [●]
0°	23.8 (4.4) [☆]	16.1 (3.2)	19.4 (4.5)
MPF	33.5 (5.8)	24.9 (6.9) [§]	31.7 (6.6)
MDF-MPF	-11.6 (5.1)	-10.2 (5.1)	-13.6 (7.5)

(SD : Standard Deviation)

☆ 脛直型、アテトーゼ型、健常者すべてに有意な差あり ($p < 0.05$)

§ 脛直型とアテトーゼ型、アテトーゼ型と健常者に有意な差あり ($p < 0.05$)

● MDF と MPF の間に有意な差あり ($p < 0.001$)

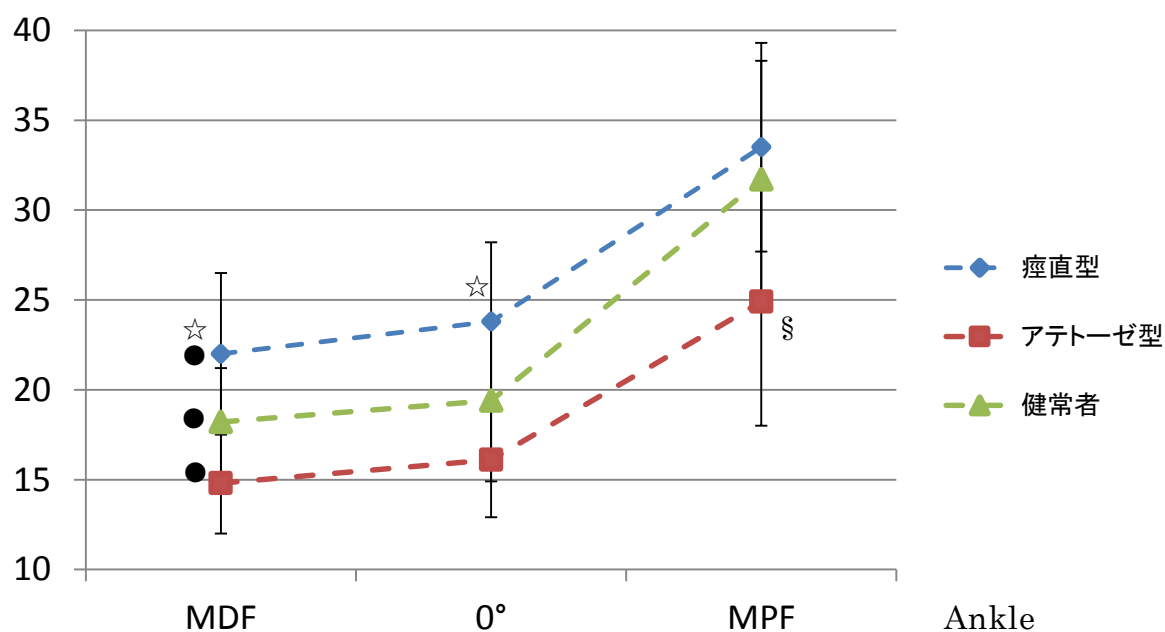


図 14 MDF、0°、MPF と羽状角の関係

☆ 脛直型、アテトーゼ型、健常者すべてに有意な差あり ($p < 0.05$)

§ 脛直型とアテトーゼ型、アテトーゼ型と健常者に有意な差あり ($p < 0.05$)

● MDF と MPF の間に有意な差あり ($p < 0.001$)

表 11 運動機能別の筋腹率

	痙直型		アテトーゼ型		健常者
(%)	歩行(n=11)	立位(n=9)	歩行(n=11)	立位(n=9)	歩行(n=20)
RP	45.4 (3.7)※	45.3 (5.1)	56.4 (3.6) §	48.3 (3.8)	58.0 (4.2)
MDF	47.4 (3.0)※	46.5 (4.9)	57.6 (3.0) §	50.8 (3.5)	59.2 (4.2)
0°	47.4 (3.2)※	47.4 (3.2)	57.1 (3.2) §	51.5 (3.9)	58.6 (4.3)
MPF	45.1 (3.6)※	45.1 (4.5)	56.1 (3.4) §	48.2 (3.3)	57 (3.9)
mean	46.1 (3.4)	45.9 (4.5)	56.8 (3.3)	49.4 (3.7)	58.2 (4.2)

(SD : Standard Deviation)

MT : Muscle Thickness, MFL : Muscle Fascicle Length,

NRMFL : Normalized MFL, PA : Pennation Angle

§ アテトーゼ型の歩行群と立位群の間で有意な差あり (p<0.001)

※ 痙直型の歩行群とアテトーゼ型の歩行群、痙直型の歩行群と健常者に有意な差あり (p<0.001)

表 12 運動機能別の筋厚

	痙直型		アテトーゼ型		健常者
(cm)	歩行	立位	歩行	立位	歩行
RP	1.3 (0.3) ^{§ ※}	1.0 (0.1)	1.8 (0.3) [§]	1.4 (0.2)	2.1 (0.2)
MDF	1.4 (0.2) ^{§ ※}	1.1 (0.1)	1.9 (0.3) [§]	1.5 (0.2)	2.1 (0.3)
0	1.4 (0.3) ^{§ ※}	1.0 (0.1)	1.9 (0.3) [§]	1.5 (0.2)	2.1 (0.3)
MPF	1.3 (0.2) ^{§ ※}	1.1 (0.1)	1.9 (0.3) [§]	1.4 (0.2)	2.1 (0.3)

(SD : Standard Deviation)

§ 歩行群と立位群に有意な差あり (p<0.05)

※ 痙直型の歩行群とアテトーゼ型の歩行群、痙直型の歩行群と健常者に有意な差あり (p<0.001)

表 13 運動機能別の筋束長 (cm)

Ankle	痙直型		アテトーゼ型		健常者
	歩行	立位	歩行	立位	歩行
RP	2.8 (0.7) [※]	2.2 (0.7)	5.1 (0.8)	4.7 (0.9)	5.3 (0.8)
MDF	3.6 (1.0) [※]	2.8 (1.0)	6.5 (1.2)	5.6 (1.0)	6.6 (0.8)
0	3.5 (1.1) [※]	2.3 (0.8)	6.1 (1.1)	5.7 (0.8)	6.1 (0.8)
MPF	2.2 (0.6) [※]	2.0 (0.7)	4.2 (1.0)	4.1 (0.9)	3.9 (0.7)

(SD : Standard Deviation)

※ 痙直型の歩行群とアテトーゼ型の歩行群、痙直型の歩行群と健常者に有意な差あり (p < 0.001)

表 14 運動機能による正規化した筋束長

Ankle	痙直型		アテトーゼ型		健常者
	歩行	立位	歩行	立位	歩行
RP	0.08 (0.02) [※]	0.07 (0.02)	0.15 (0.03)	0.14 (0.02)	0.14 (0.02)
MDF	0.10 (0.02) [※]	0.08 (0.03)	0.18 (0.04)	0.16 (0.03)	0.18 (0.02)
0	0.10 (0.03) [※]	0.07 (0.03)	0.17 (0.04)	0.16 (0.02)	0.16 (0.02)
MPF	0.06 (0.01) [※]	0.06 (0.02)	0.12 (0.03)	0.12 (0.02)	0.11 (0.02)

(SD : Standard Deviation)

※ 痙直型の歩行群とアテトーゼ型の歩行群、痙直型の歩行群と健常者に有意な差あり (p < 0.001)

表 15 各運動機能による羽状角

(°)	痙直型		アテトーゼ型		健常者
	歩行	立位	歩行	立位	歩行
RP	28.2 (6.4) [※]	28.2 (6.4)	21.1 (4.4)	18.1 (4.5)	23.2 (3.2)
MDF	22.8 (4.1) [※]	21.0 (4.9)	15.3 (2.6) [§]	14.2 (3.0)	18.2 (3.0) [☆]
0	23.8 (4.4) [※]	23.8 (5.1)	16.7 (3.1)	14.8 (3.2)	19.4 (4.5) [☆]
MPF	34.4 (5.0) [※]	32.5 (6.7)	27.9 (6.7)	21.4 (5.7)	31.7 (6.6)

(SD : Standard Deviation)

※ 痙直型の歩行群とアテトーゼ型の歩行群に有意な差あり ($p < 0.05$)

☆ 痙直型の歩行群と健常者の間に有意な差あり ($p < 0.05$)

§ アテトーゼ型の歩行群と健常者の間に有意な差あり ($p < 0.05$)

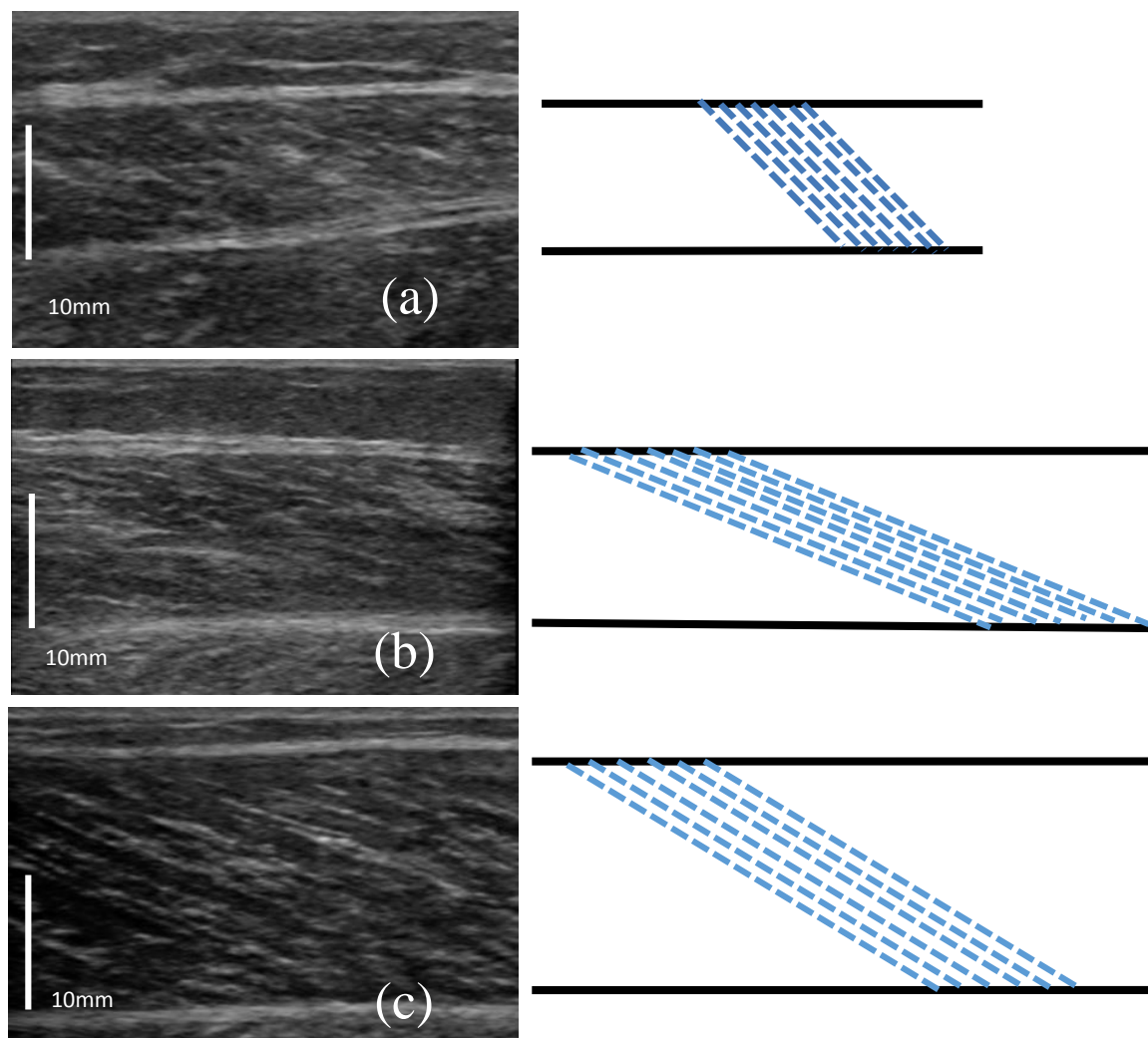


図 15 安静時筋構造の超音波画像例

- (a) 痙直型（25 歳、男性）：筋厚と筋束長が減少し、羽状角が増加している。
- (b) アテトーゼ型（41 歳、女性）：筋厚と羽状角が減少している。筋束長は健常者と差はない
- (c) 健常者（24 歳、男性）