



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

**札幌医科大学学術機関リポジトリ *ikor***

SAPPORO MEDICAL UNIVERSITY INFORMATION AND KNOWLEDGE REPOSITORY

Title	成人脳性麻痺者の排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
Author(s)	横井, 裕一郎;小塚, 直樹;松山, 敏勝
Citation	札幌保健科学雑誌,第 3 号:27-34
Issue Date	2014 年 3 月
DOI	10.15114/sjhs.3.27
Doc URL	<a href="http://ir.cc.sapmed.ac.jp/dspace/handle/123456789/6072">http://ir.cc.sapmed.ac.jp/dspace/handle/123456789/6072</a>
Type	Technical Report
Additional Information	
File Information	n2186621X327.pdf

- ・コンテンツの著作権は、執筆者、出版社等有します。
- ・利用については、著作権法に規定されている私的使用や引用等の範囲内で行ってください。
- ・著作権法に規定されている私的使用や引用等の範囲を越える利用を行う場合には、著作権者の許諾を得てください。

研究報告

## 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

横井裕一郎<sup>1)2)</sup>、小塚直樹<sup>3)</sup>、松山敏勝<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> 札幌医科大学大学院保健医療学研究科

<sup>2)</sup> 北海道文教大学人間科学部理学療法学科

<sup>3)</sup> 札幌医科大学保健医療学部理学療法学科

<sup>4)</sup> 北海道立子ども総合医療・療育センター 整形外科

本研究の目的は、脳性麻痺者と健常者の腓腹筋内側頭に対して超音波画像を使用した筋構造評価の再現性を検討することである。対象者は脳性麻痺者9名(35.1±9.2歳)、健常者9名(21.7±0.7歳)であった。評価項目は筋厚、筋束長、羽状角とし、足関節は安静、他動的な最大底屈と最大背屈とした。結果は、全評価の脳性麻痺者の級内相関係数(Intraclass correlation coefficients, 以下ICC)は0.95~0.99、健常者のICCは0.81~0.99であった。2回測定標準誤差は、脳性麻痺者の筋厚は0.03~0.05cm、筋束長は0.03~0.05cm、羽状角は0.3~0.6°、また健常者の筋厚は0.01~0.03cm、筋束長は0.06~0.09cm、羽状角は0.40~0.62°であった。最小可検変化量は、脳性麻痺者の筋厚は0.04~0.08cm、筋束長は0.08~0.14cm、羽状角は0.83~1.66°、また健常者の筋厚は0.01~0.08cm、筋束長は0.17~0.25cm、羽状角は1.11~1.72°であった。以上の結果から、脳性麻痺者においても超音波画像による筋構造評価の再現性は高いことが確認され、医学的評価に利用できる可能性が示唆された。

キーワード：筋厚、筋束長、羽状角、級内相関係数、再現性

## The reproducibility of ultrasound evaluation of muscle architecture for medial gastrocnemius in adults with cerebral palsy

Yuichiro YOKOI, RPT, MS<sup>1)2)</sup>, Naoki KOZUKA, RPT, PhD<sup>3)</sup>, Toshikatsu MATSUYAMA, MD, PhD<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Graduate School of Health Sciences, Sapporo Medical University

<sup>2)</sup> Department of Physical Therapy, Faculty of Human Science, Hokkaido Bunkyo University

<sup>3)</sup> Department of Physical Therapy, School of Health Sciences Sapporo Medical University

<sup>4)</sup> Department of Orthopedic surgery, Hokkaido Medical Center for Child Health and Rehabilitation

The purpose of study was to examine the reproducibility of ultrasound evaluation of muscle structure in cerebral palsy (CP). We compared the ultrasound images of the medial gastrocnemius of 9 adults with CP (mean age, 35.1 ± 9.2 years) and 9 normally developing (ND) adults (mean age, 21.7 ± 0.7 years). The muscle thickness (MT), muscle fascicle length (MFL), and pennation angle (PA) were measured with the ankle joint in the resting position, maximum dorsiflexion, and maximum plantar flexion. Intraclass correlation coefficients for the assessment values were 0.95-0.99 (95% confidence interval [CI], all >0.9) and 0.81-0.99 (95% CI lower value, 0.45-0.65 for MT, 0.92-0.96 for MFL, and 0.4-0.81 for PA) for adults with CP and ND adults, respectively. The standard error of mean (SEM) values of MT and MFL were 0.03-0.05 cm for adults with CP and 0.01-0.09 cm for ND adults. The SEM values for PA were 0.3-0.6° and 0.4-0.62° for adults with CP and ND adults, respectively. Lastly, the minimal detectable change (MDC) for MT and MFL were 0.08-0.14 cm for adults with CP and 0.03-0.25 cm for ND adults, and the MDC for PA was 0.83-1.66° for adults with CP and 1.11-1.72° for ND adults. We suggest that muscle structure in CP can be effectively evaluated using ultrasound images.

Key words : muscle thickness, muscle fascicle length, pennation angle, intraclass correlation coefficients, reproducibility

Sapporo J. Health Sci. 3:27-34(2014)

## I. はじめに

脳性麻痺（Cerebral Palsy、以下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<sup>1)</sup>。CPの筋の伸張性は、痙縮や成長・発達につれて定型的運動の繰り返し、筋の不動などが原因で低下する。その結果、CPの立位姿勢は、股関節屈曲・内転・内旋、膝関節屈曲、足関節底屈の変形・拘縮を伴った特有の異常姿勢となってしまう<sup>2)</sup>。

近年、CPの筋の構造・形態の特性を評価するために、超音波画像を使用した研究が報告されている<sup>3~6)</sup>。これらの研究の対象筋は、主に大腿四頭筋<sup>7, 8)</sup>と腓腹筋である。Barretら<sup>9)</sup>のシステマティックレビューによると、CPの腓腹筋に対して超音波画像を使用した研究では、筋厚、筋束長、羽状角が多く計測されていると報告している。

CPの腓腹筋を対象とした研究で、Shortlandら<sup>3)</sup>は、健常児とCP児の間には下腿三頭筋の筋束長において有意な差が認められないと報告している。一方、Mohagheghiら<sup>4)</sup>の、CP痙直型片麻痺の腓腹筋内側頭の筋束長と筋厚を、麻痺側と非麻痺側の間で比較した研究では、麻痺側の方が有意に筋束長は短く、筋厚は薄いと報告をしている。さらにBarberら<sup>5)</sup>の研究では、歩行可能な2~5歳の粗大運動能力分類システム<sup>10, 11)</sup>（Gross Motor Function Classification System、以下GMFCS）I・IIレベルのCP児と健常児で比較した結果、CP児は幼少期までに、腓腹筋内側頭の筋厚が22%減少していると報告している。このように先行研究では、CP児の腓腹筋内側頭の筋構造は、健常児と異なるという報告もあれば、CP児と健常児に差がないという報告もある。この原因は、対象者が発達途中である子どもであるため、成長度のばらつきに起因していると考えられる。

このようなCPの筋構造の評価は、筋の特性に対する科学的な検証、治療の短期的・長期的効果の評価、そして治療の新しい理論的枠組みの構築に利用できる可能性がある。また超音波画像評価は、生体内の筋構造、形態を可視化でき、非侵襲的かつ容易<sup>12)</sup>であり、量的な評価が可能である。CP児・者にとって、超音波画像評価は特別な場面設定が必要ではなく、評価時間も短時間であるため、身体的・精神的負担が少ないことが利点である。よって今後の臨床応用が可能な評価法といえる。

しかしCP児・者において超音波画像を使用した筋構造の研究・評価は、再現性の低下が予想される。超音波画像から得られる数値データは、mm単位であり、わずかな誤差でも評価を進める上で大きな問題となる。特に治療介入による経時的変化を評価する場合、再現性の低下は結果の信頼性を低下させる。この再現性を低下させる原因はいくつか考えられる。CPの筋の痙縮、不随意運動といった筋緊張は、筋の収縮状態が日によって異なることがあるために、超音波画像による評価の再現性を低下させる可能性が

ある。さらに①画像の取り込み：検者の測定技術である皮膚に対するプローブの位置、角度、圧の調整による誤差、②測定条件の設定：CPの場合は筋緊張の亢進や変動の可能性があり、足関節の角度による誤差、③画像の分析：画像から数値データを得る過程で発生する誤差、が考えられる。

ちなみに腓腹筋構造の再現性の研究としては、Legerlotzら<sup>13)</sup>が子どもを対象に級内相関係数（Intraclass correlation coefficients以下ICC）を使用して行っている。足関節底背屈0°の位置では、ICCは、筋厚0.95、筋束長0.87、羽状角0.89と良好な再現性を示していた。しかし、CP児に対して、超音波画像を使用した筋構造評価の再現性に関する研究はない。また成長段階が終了した成人CP者を対象とした研究もない。

そこで本研究は、成人のCP者と健常者の腓腹筋内側頭に対して超音波画像による筋構造の評価を2回施行し、その2回の評価の再現性を確認するとともに、CP者と健常者の特徴について検討することを目的として行った。

## II. 対象と方法

### 1. 対 象

対象者は肢体不自由者施設に入所中の成人のCP者9名（男性6名、女性3名、平均年齢 $35.1 \pm 9.2$ 歳）とした。障害内訳は痙直型5名、アトローゼ型4名であり、粗大運動機能はGMFCSレベル1：1名、レベル2：3名、レベル3：1名、レベル4：4名であった。GMFCSは対象者が18歳以上であるため、12歳~18歳までの年齢帯レベルの分類を使用した。CP者の選抜は運動機能障害が安定している人の中から、無作為に抽出した。健常者は9名（男性6名、女性3名、平均年齢 $21.7 \pm 0.7$ 歳）で、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。本研究の実施にあたり、対象者には測定前に研究趣旨及び超音波画像（以下、画像とする）装置の説明を十分に行い、書面にて同意を得た。なお本研究は札幌医科大学倫理審査委員会の承認を受けた後、実施した。

### 2. 測定方法

腓腹筋内側頭の画像からの評価項目は、筋厚、筋束長、羽状角とした（図1）。評価に際し、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。測定脚は、CP者は底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。腓腹筋内側頭の評価の際、足関節は安静（Resting Position、以下RP）、最大底屈（腓腹筋を最大に弛緩した状態、Maximum Plantar Flexion、以下MPF）、最大背屈（腓腹筋を最大伸張した状態、Maximum Dorsi Flexion、以下MDF）の3肢位にて実施した。RPは被験者が腹臥位になったときの自然な足関節の状態とした。この時、研究補

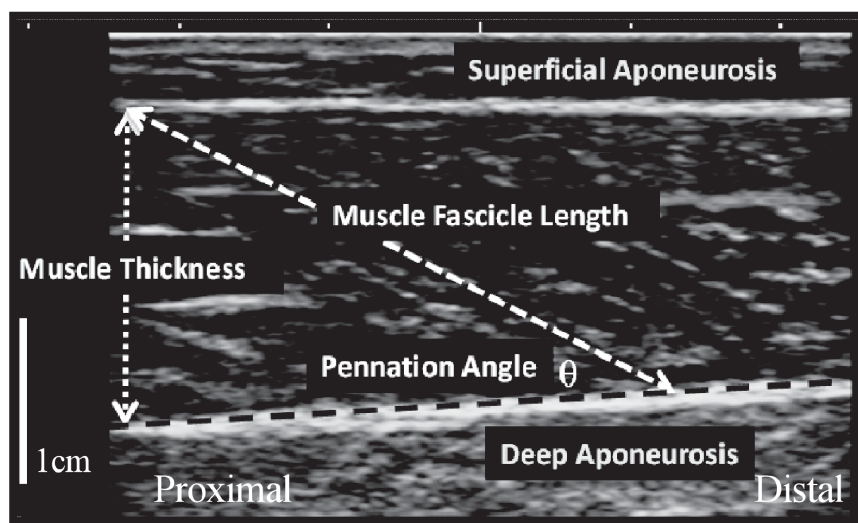


図1 腓腹筋内側頭の超音波画像と計測方法

Image Jにて、筋厚 (Muscle Thickness)、筋束長 (Muscle Fascicle Length)、羽状角 (Pennation Angle) を測定した。

助者は足関節を徒手にて保持した。MPFは研究補助者が他動的に行い、徒手にて保持した。またCP者の場合、MDFでは伸張反射、クローヌス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。この3肢位で画像記録・評価と足関節の角度を測定した。なお足関節の角度は、底背屈0°を基準とし、背屈は+、底屈は-の表示とした。足関節の角度（足部の外側縁と下腿軸のなす角）はゴニオメーター（国際標準角度計）を使用して測定した。なお測定時の膝関節は伸展0°、もしくは最大伸展位とした。2回目の足関節の角度は、1回目と同様の角度を他動的に設定した。

超音波評価機器の使用にあたり、検者はCP児・者と健常者に対して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、前述の足関節固定方法を練習した後、研究を開始した。

本研究は測定再現性の検討であるため、2回の測定を実施した。2回の測定期間は平均4.5±2.3日であった。CPの測定は、筋の伸張性の影響を排除するために、測定の直前に理学療法を受けていないことを条件とした。したがって理学療法室に来室してすぐに、評価を行った。健常者の測定は、測定日に過度な運動はしないことを条件とした。また評価時間帯は昼食後とし、運動をしていないことを確認して評価を行った。

### 3. 測定機器

画像評価には、HS-2100（本多電子社製 B-mode、距離分解能0.4mm以下、方位分解能0.5mm以下）、リニア型プローブ（HLS-575M 7.5MHz）を使用した。画像には、Bモード（Brightness Mode）を使用した。Bモードは振幅の

大きさを輝度に変換して表示する方法で、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<sup>10)</sup>。つまり筋を評価する場合、筋や腱のコラーゲン線維は白く表示されるため、筋束の長さや筋束の角度を表示することができる。その画像データは機器に保存した後に、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。

### 4. 測定手順

#### 1) 腓腹筋内側頭における超音波画像の記録方法（図2）

検者は超音波画像の横軸の中間に映し出されているものが、リニア型プローブの中間部のものであることを確認した。検者は画像の横軸の中間部に、対象者の大腿骨内側頭の頂点とアキレス腱付着部である踵骨の中枢側が、それぞれ位置するようにプローブを動かして、画像を描出した。その後、プローブの中間部分にて皮膚上にシールにてマーキングした。この方法は、Barberら<sup>10)</sup>の方法を参考とした。Barberらは腓腹筋内側頭の起始部である大腿骨内側上顆とアキレス腱付着部である踵骨の中枢側を同定して、腓腹筋長を測定している。

大腿骨内側顆と踵骨の中枢側を直線で結んだ線の間で、腓腹筋内側頭の筋腹部における最大膨隆部を検者が視覚的に同定し、その部位にプローブを位置させた。プローブの設定角度は、画像が深部筋膜（Deep aponeurosis）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。画像記録後、1回目の際に使用した皮膚上のマーキングに使用したシールは廃棄処分し、2回目の測定の際には測定部位が同定できないようにした。

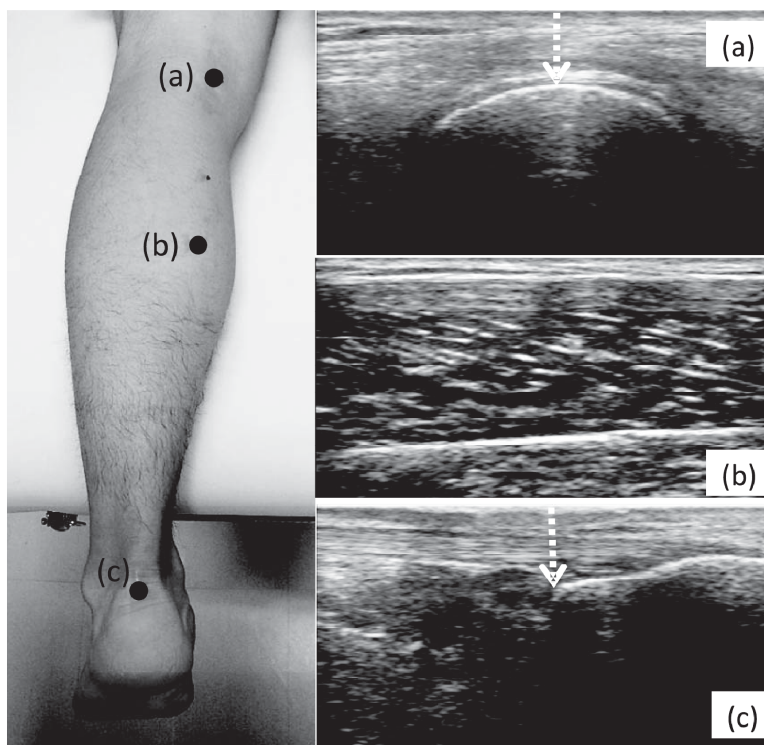


図2 腓腹筋の測定部位と超音波画像

- (a) 大腿骨内側顆の頂点 (b) 筋構造測定部位 (c) 踵骨のアキレス腱付着部  
(a) と (c) はリアプローブの中央と画像の横軸の中央で確認した。  
(a) と (c) を結んだ線上にて、腓腹筋内側頭部で画像 (b) を記録した。

## 2) 画像の分析

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、画像から各評価項目を測定した (図1)。測定項目は筋厚、筋束長、羽状角の3つとし、以下の手順で実施した。

筋厚は、画像における浅部筋膜 (Superficial aponeurosis) と深部筋膜の間を直線で結んだ距離とした。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、最も内側の部位で測定した。筋束長は、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、筋厚を測定した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選択し、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は厚みがあるため、最も内側の部位で測定した。羽状角は、羽状筋における筋膜と筋束のなす角度であり、画像では浅部筋膜と深部筋膜の間をつなぐ筋束が深部筋膜となす角度とした。筋束長の測定の際に使用した筋束と深部筋膜のなす角を測定した。以上の分析を、画像一枚から2回実施し、その平均値を測定値として採用した。

## Ⅲ. 統計処理

本研究は上記評価を2回実施し、その再現性の研究である。

統計処理は、ICC (1.1) を使用し再現性を求めた<sup>16)</sup>。同時にICCの95%信頼区間 (confidence interval、以下CI) を求めた。なおICCの値は、0.9以上をgreat (優秀)、0.8以上0.9未満をgood (良好)、0.7以上0.8未満をfair (普通)、0.6～0.5未満をpossible (可能)、0.5以下をre-work (要再考) と判断し、0.7以上を再現性のある値とした<sup>17)</sup>。さらに測定の誤差を確認するために、2回測定の平均値の標準誤差 (Standard error of mean、以下SEM) と測定誤差量を表す最小可検変化量 (Minimal Detectable Change、以下MDC) を求めた。またRP、MPF、MDFの足関節角度に対するCP者と健常者の比較には、対応のないt検定を使用した。

なお統計処理の有意水準は危険率5%未満とした。また統計処理には、SPSS ver19 (IBM社製) を使用した。

## Ⅳ. 結果

CP者と健常者における各足関節肢位の筋厚、筋束長、羽状角の詳細は表1に示す。測定の際におけるCP者の足関

表 1 脳性麻痺（CP）者と健常者の各関節位置による結果

		RP		MDF		MPF	
		1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
CP者	MT [cm]	1.3 (0.3)	1.3 (0.3)	1.4 (0.4)	1.4 (0.4)	1.3 (0.3)	1.3 (0.3)
	MFL [cm]	3.6 (1.3)	3.5 (1.3)	4.4 (1.5)	4.4 (1.6)	3.1 (1.2)	3.1 (1.2)
	PA [°]	20.8 (7.7)	21 (8.2)	17.9 (4.8)	18.2 (5.6)	26.7 (7.2)	27.2 (7.5)
	ROM [°]	-31.1 (9.3)*		- 1.7 (7.9)*		-56.1 (6.5)	
健常者	MT [cm]	1.9 (0.3)	2 (0.2)	2 (0.2)	2 (0.2)	2 (0.4)	2.1 (0.3)
	MFL [cm]	4.9 (0.8)	5 (0.7)	6 (0.7)	5.9 (0.7)	3.92(1 )	4 (1 )
	PA [°]	23.1 (1.8)	22.6 (1.3)	16.6 (1.4)	16.8 (1.3)	32.2 (6.2)	31.9 (4.8)
	ROM [°]	-20.6 (1.7)		11.7 (4.3)		-50.6 (5.8)	

( ) : 標準偏差

※ CP者と健常者間で有意差あり (p<0.05)

MT : Muscle Thickness、MFL : Muscle Fascicle Length、PA : Pennation Angle

RP : Resting Position、MDF : Maximum Dorsi Flexion、MPF : Maximum Plantar Flexion

表 2 脳性麻痺（CP）者と健常者のICC, SEM, MDC

		RP			MDF			MPF		
		ICC (95%CI)	SEM	MDC	ICC (95%CI)	SEM	MDC	ICC (95%CI)	SEM	MDC
CP者	MT	0.95 (0.82-0.99)	0.03	0.08	0.99 (0.96-0.99)	0.04	0.11	0.97 (0.9 -0.99)	0.05	0.14
	MFL	0.99 (0.96-0.99)	0.03	0.08	0.99 (0.95-0.99)	0.05	0.14	0.99 (0.96-0.99)	0.04	0.11
	PA	0.98 (0.9 -0.99)	0.3	0.83	0.98 (0.9 -0.99)	0.3	0.83	0.97 (0.89-0.99)	0.6	1.66
健常者	MT	0.9 (0.65-0.98)	0.03	0.08	0.85 (0.45-0.96)	0.01	0.03	0.89 (0.6 -0.97)	0.02	0.06
	MFL	0.98 (0.92-0.99)	0.06	0.17	0.98 (0.93-0.99)	0.09	0.25	0.99 (0.96-0.99)	0.06	0.17
	PA	0.81 (0.4 -0.95)	0.62	1.72	0.84 (0.46-0.96)	0.4	1.11	0.95 (0.81-0.99)	0.59	1.64

(p<0.05)

MT : Muscle Thickness、MFL : Muscle Fascicle Length、PA : Pennation Angle

RP : Resting Position、MDF : Maximum Dorsi Flexion、MPF : Maximum Plantar Flexion

ICC : Intraclass correlation coefficients、95%CI : 95%Confidence Interval

SEM : Standard error of mean、MDC : Minimal Detectable Change

節の角度はMDFで-1.7°、RPで-31.1°、MPFで-56.1°であった。また健常者の足関節の角度はMDFで11.7°、RPで-20.6°、MPFで-50.6°であった。CP者と健常者の間にはRP (p<0.001) とMDF (p<0.001) では有意な差が認められ、MPFでは有意な差が認められなかった (p=0.08)。

1) ICCとICCの95%CIについて（表2）

CP者のICCは0.95～0.99、健常者は0.81～0.99であった。

CP者の95%CIは、RPの筋厚で下限値が0.82を示したが、概ね0.9以上の値を示した。健常者の95%CIは、筋厚の下限値がRPは0.65、MDFは0.45、MPFは0.6であった。羽状

角の下限値は、RPは0.4、MDFは0.46、MPFは0.81を示した。

2) SEMについて（表2）

CP者のSEMは、筋厚、筋束長は0.03～0.05cm、羽状角は0.3、0.6°を示した。健常者では、筋厚、筋束長は0.01～0.09cm、羽状角は0.4～0.62°であった。

3) MDCについて（表2）

CP者のMDCは筋厚、筋束長は0.08～0.14cm、羽状角は0.83～1.66°を示した。健常者は筋厚、筋束長は0.03～0.25cm、羽状角は1.11～1.72°であった。

## V. 考 察

### 1. 超音波画像評価の再現性について

本研究の結果より、我々が実施した測定は、平均ICCが良好～優秀な値を示したため、再現性のある方法であることが示唆された。特にCP者のICCはすべての足関節位置において、高い値を示した。ただし健常者の筋厚と羽状角の95%CIの下限値が低値を示した。RPは筋厚0.65、羽状角0.4、MDFは筋厚0.45、羽状角0.46と低値を示した。

以上の結果を先行研究と比較する。Legerlotzら<sup>13)</sup>は健常の子どもを対象にして、腓腹筋内側頭の筋厚、筋束長、羽状角について、その測定再現性について報告している。なお足関節の位置はMPFと底背屈0°で測定している。MPFのICCは、筋厚は0.96～0.98でICCの下限値は0.89、筋束長は0.87～0.91でICCの下限値は0.67、羽状角は0.89～0.96でICCの下限値は0.72であった。また底背屈0°のICCは、筋厚は0.94～0.98でICCの下限値は0.85、筋束長は0.89～0.96でICCの下限値は0.72、羽状角は0.85～0.94でICCの下限値は0.63であった。ICCは良好～優秀な値を示しているが、本研究のMPFの値と比較しても、筋束長と羽状角におけるICCの下限値が低値を示し、また底背屈0°においても筋束長と羽状角におけるICCの下限値が低値を示す結果であった。このことは測定値の再現性が低下させる可能性があるため、健常児・者の測定には、対象者の設定など注意する必要がある。

測定誤差を示すSEMは、CP者と健常者ともに、長さを示す筋厚とMFLは1mm以下を示した。角度を示す羽状角は1°以下を示した。本研究によって測定誤差は大変小さいことが示唆された。

測定誤差を予測するためのMDCは、CP者と健常者ともに、長さを示す筋厚とMFLは0.06～0.25cm、角度を示す羽状角は0.82～1.72°と大変低い値であった。つまり、これらの値以上の変化であれば、誤差ではなく真の変化として捉えることが可能である。

我々は研究仮説として、CP者の筋緊張の状態が日によって異なることがあるため、筋の構造の測定において再現性が低下する可能性を考えていた。また再現性を低下させる誤差の発生は、画像の取り込み段階、被験者の設定段階、画像の分析段階で起こる可能性があった。本研究はCP者、健常者ともに、研究手順と方法を厳密に設定し測定した。その結果、CP者は健常者よりも再現性が若干高く、研究や評価において、超音波画像評価が有効に利用できる可能性を示した。

### 2. 身体・障害の特性が超音波画像評価の再現性に及ぼす影響について

我々は臨床でCP者の筋の伸張を行う際、筋の状態が日によって異なることを経験する。あくまでも、これは筋の

「硬さ」、「粘弾性」、「速度依存性の抵抗」<sup>14)</sup>といった痙縮をはじめとする筋緊張の状態を評価しており、本研究における筋構造の評価とは異なるものである。さらに本研究のような短期間での2回測定では再現性が高いことから、成人のCP者は筋構造といった観点からは不可逆的な変化が生じていると考えられる。この理由はCP者の腓腹筋内側頭が筋線維の短縮と筋膜などの結合組織性拘縮が合わさった状態<sup>15)</sup>で伸張性が低下しているためである。特にこの病態は、筋膜を構成するコラーゲンの変化により筋の伸張性が低下<sup>16)</sup>し、筋線維の収縮・弛緩といった多様性が損なわれているため、筋の状態は変わりづらいのかもしれない。また研究対象者となったCP者は施設入所しており、日常生活での活動範囲が狭い。したがって運動量が少ない故に、筋の収縮・弛緩といった筋を活動させる機会が少ないため、再現性の高い結果になった可能性も考えられる。

一方で健常者の筋厚と羽状角の95%CIの下限値が低値を示した理由は、対象者自体の身体・障害特性によるものと考えられる。CP者と比較して活動範囲が広く、歩行や走行、スポーツといった多種多様な運動が行われる。筋のレベルでは、収縮・弛緩・伸張が繰り返され、筋の状態が変動している。したがってCP者よりも健常者の95%CIの下限値が少々低いことは、筋の状態変化を示している可能性がある。他には、MDF、RP、MPFの足関節ROMの違いによる影響が考えられる。特に健常者の95%CIの下限値が低かったRPでCP者は-31.1°、健常者は-20.6°、MDFでCP者は-1.7°、健常者は11.7°であった。筋の伸張状態は足関節の角度によって異なる。特にMDFは最大に筋が伸張された状態であるため、健常者の場合、筋の伸張状態が日によって異なる可能性が考えられる。

ちなみに先行研究でCP者に対する、超音波画像を使用した筋構造評価の再現性に関するものは見当たらない。ただし検者間の再現性に関する研究<sup>8)</sup>では、CP児と健常児の大腿直筋と外側広筋を対象としたものがあり、大腿直筋の羽状角では健常児のICCは0.95、95%CIの下限値では0.78を示していた。また外側広筋の筋束長では健常児のICCは0.88、95%CIの下限値では0.68を示していた。健常者のICCと95%CIは、おおむね良好であるが、CP児より若干低い値を示していた。

この先行結果を踏まえると、CPに対する超音波画像を使用した筋構造評価は、健常児・者よりも再現性のある値が得られやすい可能性がある。

### 3. 本研究結果の応用について

本研究の結果から、CP者の腓腹筋に対する超音波画像評価は、評価方法を厳密に設定し測定誤差を最低限に調整できれば、再現性が高いことが示された。したがって、筋構造レベルでの治療効果を正確に判定できる可能性が示唆された。

CPの下腿三頭筋に対しては、筋延長術<sup>2)</sup>やギプス固定

や装具療法、理学療法、薬物療法としてはボツリヌス毒素療法<sup>20, 21)</sup>が実施されている。これらの治療方法は筋の伸張性を向上、痙縮の軽減を目的に行われる。その変化の客観的な評価方法は、Modified Ashworth Scale (以下MAS)<sup>22, 23)</sup>とModified Tardieu Scale (以下MTS)<sup>24-27)</sup>といった筋への伸張に対する抵抗感や粘弾性を評価する指標であり、また関節可動域 (Range of Motion、以下ROM) 測定<sup>28)</sup>が一般的である。

筋の拘縮の多くは筋線維長の低下によって起こるとされている<sup>29)</sup>。したがって、もし治療によってROMが改善されるのであれば、同時に筋束長が増加する可能性が高いため、超音波画像を使用した筋構造の評価を応用できる。また成人期のCP者における筋緊張の亢進、ROM制限といった身体的問題の理解<sup>30)</sup>、運動機能の維持・向上や筋緊張の減弱を目的とした理学療法内容、介入時期、外科介入を検討する一助になるであろう。

## VI. 研究の限界と今後の課題

本研究は成人のCP者と健常者の腓腹筋内側頭に対して超音波画像を使用して評価を行い、短期間における再現性の高さや測定誤差の少なさを明らかにした。したがって長期的な変化や治療効果の判定に使用できる可能性がある。また本研究に使用した筋厚、筋束長、羽状角は誤差が少ないため、わずかな変化をとらえることが可能である。しかし、これらの指標の意味するものをより理解するためには、単独使用せず、他の評価が必要となる。例えばROM測定値、筋力、歩行分析などの変化に対して、それらの要因を解明するものとしての利用価値がある。今後、理学療法、手術療法、薬物療法といった治療の効果について、長期的に評価を行い、その利用価値について研究する必要があると思われる。

本研究の対象者は成人のCP者であり、再現性の評価期間は短期間である。もし子どものCPを研究対象とする場合には、成長を考慮しなければいけない。つまりCP児と健常児の成長に伴う、筋構造の変化の研究を行い、基礎データとして蓄積することが必要である。その結果を踏まえ、超音波画像による筋構造評価はCP児・者への治療効果や長期経過の評価指標として、使用可能となるであろう。

## VII. 引用文献

- 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) Koman L. A., Smith B. P., Shilt, J. S. : Cerebral palsy. *Lancet*. 363(9421):1619-1631, 2004
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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*. 50:152-156, 2008
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 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
- 11) Palisano R, Rosenbaum P, Bartlett D, et al. : Content validity of the expanded and revised Gross Motor Function Classification System. *Dev Med Child Neurol*. 50(10):744- 750,2008
- 12) 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
- 13) 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
- 14) 筋骨格画像研究会：超音波による骨・筋・関節の観察. 東京, 南山堂, 2006, p5-6
- 15) Barber L., Barrett R., Lichtwark G. : Validity and reliability of a simple ultrasound approach to measure medial gastrocnemius muscle length. *J Anat*. 218 (6)

- :637-642, 2011
- 16) 対馬栄輝：SPSSで学ぶ医療系データ解析．東京，東京図書，2007，p195-214
  - 17) 桑原洋一，斎藤俊弘，稲垣義明：検者内および検者間のReliability（再現性，信頼性）の検討．呼吸と循環.41(10):945- 952, 1993
  - 18) Lance J.W. Symposium synopsis. In : Feldman RG, Young RR, Koella WP, editor. Spasticity: disorder of motor control. Year Book Medical Chicago. 1980, p485- 494
  - 19) 沖田 実：関節可動域制限．東京，三輪書店，2008，p14-15
  - 20) 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
  - 21) Graham H. K., Aoki K. R., Autti-Ramo I., et al. : Recommendations for the use of botulinum toxin type A in the management of cerebral palsy. Gait Posture.11(1):67-79, 2000
  - 22) Ashworth B: Preliminary trial of carisoprodol in multiple sclerosis. Practitioner. 192:540-542, 1964
  - 23) Bohannon R.W., Smith M.B: Inter rater reliability of a modified Ashworth Scale of muscle spasticity. Phys Ther. 67:206-207, 1987
  - 24) Tardieu G., Sheutoub S., Delarue R. : Research on a technic for measurement of spasticity . Rev Neural. 91 : 143-144, 1954
  - 25) 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
  - 26) 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
  - 27) 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
  - 28) 新田 収、中嶋和夫、小野裕次郎：脳性麻痺成人の関節可動域の制限に関連する要因の検討．理学療法学20 : 347-354, 1993
  - 29) Lieber R.L（監訳 望月久）：骨格筋の構造・機能と可塑性．東京，医歯薬出版株式会社，2013，p314
  - 30) 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