

脊髄損傷者の不随意痙攣が麻痺筋肉量に及ぼす影響

三木由美子*・飯田 真彩**・山崎 昌廣***

(受付 2022 年 5 月 31 日)

1. 緒 言

脊髄損傷 (Spinal Cord Injury: SCI) とは外傷などによって主に脊柱に強い外力が加えられることにより、脊髄に損傷を受けることである。脊髄は脳と同様に中枢神経の 1 つであり、脳からの指令を末梢に伝えたり、末梢からの感覚を脳に伝えたりする、運動や感覚をコントロールする重要な器官である (矢部ら, 2003)。何らかの原因で脊髄を損傷すると、損傷部位より上位の中枢神経と損傷部位以下の神経との連絡が完全にあるいは部分的に遮断されるため、損傷部位以下の運動神経、感覚神経、交感神経および副交感神経が麻痺を起こすのである。運動機能あるいは感覚機能に麻痺が起こると、多くの場合は自力での歩行が困難となり、車椅子を使用する必要がある。また、損傷の程度には脊髄が完全に損傷する完全損傷と、脊髄の一部が損傷する不完全損傷がある。完全損傷とは損傷部位以下で運動機能、感覚機能が左右ともに完全に麻痺している状態であるのに対し、不完全損傷は損傷部位以下で運動機能や感覚機能が残っている状態であり、場合によっては自力での移動が可能であったり、感覚を感じたりすることがある。

SCI に対しては、急性期または長期的な医学的管理や医療技術が向上したにも関わらず、「一度損傷した中枢神経は再生しない」と言われており、SCI 者の二足歩行は困難であると考えられていた。しかし、2006 年、人工多能性幹細胞 (induced pluripotent stem cell : iPS 細胞) の出現 (Takahashi et al., 2007) により、SCI の治療にも大きな期待がなされている。iPS 細胞とは人間の皮膚などの体細胞に、ごく少数の因子を導入し、培養することによって、さまざまな組織や臓器の細胞に分化する能力とほぼ無限に増殖する能力を持つ細胞である。iPS 細胞は病気の原因の解明、新薬の開発および細胞移植治療などの再生医療に活用できると考えられている。実際に、脊髄を損傷した動物に対して iPS 細胞を移植させることで、2010 年には首から下が麻痺状態のコモンマーモセットが歩き回れるようになるなど運動機能が著しく改善したことに加え、2012 年には SCI で後足が麻痺したマウスが歩けるまでに回復したな

* 広島修道大学

** (株) 九州マツダ

*** 広島文化学園大学

どの効果的な経過が報告されている（再生医療と iPS 細胞の医療情報／ニュースサイト「エヌオピ」HP）。現段階では、SCI を有するヒトに対しての実用例はないが、iPS 細胞による治療が可能になれば、二足歩行が実現するかもしれない。しかしながら、脊髄が正常に修復したとしても SCI 者は麻痺部の筋肉が委縮しているため二足歩行を行うことは容易ではないと考える。

そこで、麻痺筋肉を鍛えることで、脊髄が修復した時に二足歩行を速やかに実現できるのであれば、麻痺筋肉を鍛えることは大きな意味を持つ。麻痺筋肉に刺激を与えるものとして不随意痙攣が挙げられる。不随意痙攣は SCI 後の合併症の 1 つであり、速度依存性の筋緊張亢進と定義される（Scold et al., 1999）。脊髄を損傷すると、損傷部位において脳からの指令が途絶えるため、指令が脳の反射中枢に届かなくなり、脊髄は身体の反応を緩和しようと試みるが、痛感部位に戻される信号がしばしば過度に誇張されることで不随意痙攣が起こる。不随意痙攣は SCI 者の 65～78% がもっており（Scold et al., 1999）、SCI 者を観察した限り、車いすからベッドなどへの移乗のような体位変化時に強い不随意痙攣が起こる。それ以外にも、不随意痙攣を助長させる要因としては、皮膚刺激、関節の拘縮・異所性骨化、局所の腫脹・熱感・外傷、外気の急激な変化および精神的緊張が挙げられる（二瓶ら、2008）。このように、不随意痙攣は身体的な刺激だけでなく心理的な不安によっても誘発されるのである。不随意痙攣は、SCI 者の体の痛みや疲労を引き起こすだけでなく、睡眠・歩行妨害、拘縮および感染症の発症、関節可動域の制限、外傷を引き起こすなど日常生活活動が制限されることを通じて生活の質（QOL: Quality of Life）を低下させるという報告がある（Sheean, 2002）。

一方で、不随意痙攣は感覚の失われている部位に起こっている損傷や障害を察知し、血流の増加、褥瘡を解消させることなどが報告されている（Jozefczyk, 2002）ことから、必ずしも悪い影響のみを及ぼす現象ではないと考えられる。また、同研究において SCI 者の不随意痙攣は麻痺筋肉の大きさに影響を与える可能性が示唆されている。しかしながら、SCI 者の不随意痙攣の強度、頻度および継続時間のような詳細は明らかにされていない。SCI 者の二足歩行を実現させるためにも、不随意痙攣が麻痺筋肉に及ぼす影響をより詳細に明らかにすることが必要となる。

このようなことから、本研究では SCI 者を対象とし、1 日に生じる不随意痙攣の強度、頻度および継続時間を調査し、筋肉量との関連性を検討することを目的とした。

2. 方 法

1) 対象者

対象者は成人男性の SCI 者 15 名であった。そのうち、歩行のできる者を除いたため、分析に用いた対象者は 13 名であった。対象者には書面と口頭により、研究計画を説明した後、研

究に協力することによる利益，不利益がないことおよび公表について十分な説明を行った。また，研究の途中でであってもいつでも協力を辞退することができ，辞退することでの不利益がないことを説明し，同意が得られた者を対象とした。

対象者13名（不随意痙攣のある者は7名，ない者は6名）の特徴は表1にまとめた通りである。平均年齢は50.2歳（32～72歳）であった。平均損傷年数は25.3年（14～40年）であり，胸髄損傷者（Th1～12）が12名，腰髄損傷者（L1～5）が1名であった。また，完全損傷者は9名，不完全損傷者は4名であった。不随意痙攣のある対象者の特徴は表2に，不随意痙攣のない対象者の特徴は表3に示した通りである。

表1 対象者の特徴

	年齢 (歳)	損傷レベル	損傷年数 (年)
全対象者 (n=13)			
Mean	50.2	Th5-L1	25.3
SD	12.8		8.7
不随意痙攣有 (n=7)			
Mean	41.7	Th5-L1	19.9
SD	4.9		3.8
不随意痙攣無 (n=6)			
Mean	60.2	Th6-Th12	31.7
SD	11.9		8.5

表2 不随意痙攣のある対象者の特徴

	A	B	C	D	E	F	G
年齢 (歳)	48	43	42	42	44	41	32
損傷レベル	Th5	Th6	Th6	Th9	Th11	Th12	L1
損傷年数 (年)	26	20	18	18	21	22	14
スポーツ歴 (年)	25	13	20	16	16	20	12
損傷分類	不全	完全	不全	完全	不全	不全	完全

表3 不随意痙攣のない対象者の特徴

	H	I	J	K	L	M	N	O
年齢 (歳)	68	72	58	61	64	38	26	37
損傷レベル	Th6	Th10	Th11	Th11	Th12	Th12	Th12	L4
損傷年数 (年)	40	36	30	25	40	19	7	19
スポーツ歴 (年)	21	30	28	14	10	16	6	16
損傷分類	完全	完全	完全	完全	不完全	完全	不完全	不完全

2) 測定方法

①筋量

超音波弾性計測装置（MIZOUE PROJECT JAPAN 製 MSDB04-ARM）により大腿前面の皮下脂肪および筋の厚みを測定した。健常者では仰臥位で測定を行うが、SCI 者は損傷により、脚を伸ばすことが困難であることに加え、筋の伸張により不随意痙攣が起こってしまう可能性が高いことから、車椅子のフットレストに脚を乗せた座位状態で測定した。測定は大腿骨の50%の位置とし、大腿前面の筋（大腿直筋と中間広筋）を測定した。測定は対象となる皮膚上に超音波用ジェルを塗布し、筋肉に対してプローブを垂直に当て、パソコン画面にて超音波エコーから大腿骨を中心に、大腿直筋および中間広筋を垂直に捉えていることを確認した。測定回数は左右3回ずつ行い、平均値を算出した。

②筋硬度

村木ら（2009）が開発した超音波弾性計測装置（メカトロニクス社製 IES-5型）により大腿前面の皮下脂肪および筋の変位量を計測した。測定姿勢、測定位置および測定部位については筋厚の測定と同様である。測定は筋厚と同様に、筋肉に対してプローブを垂直に当て（写真1）、パソコン画面にて超音波エコーから皮下脂肪、筋肉および骨の各境界が観察されていることを確認した後、プローブを垂直に押しこんだ。プローブと皮下脂肪、筋肉の延長線上には骨が位置するように調整した。プローブを垂直に押すと、一定の圧（10N）が加圧され、押圧前後の皮下脂肪および筋の変位量が算出できる。この筋の変位量を筋硬度とした。測定回数は左右2回ずつ行い、平均値を算出した。

③不随意痙攣の強度

不随意痙攣のある対象者には加速度計（マイクロストーン社製 MVP-RF8-GC-2000）を用



写真1 筋硬度の測定風景

いて不随意痙攣の強度を測定した。車椅子での座位状態で、大腿前面にセンサーを当て、ベルトで固定させ振動を計測した。不随意痙攣は聞き取り調査により最も強く起こる動作を実行し、誘発させた。

④アンケート調査

聞き取り調査により、不随意痙攣の有無を回答してもらった。不随意痙攣のある対象者には不随意痙攣の起きやすい動作、左右の違いについて回答してもらった。また、全対象者に対して SCI 後のスポーツ活動状況についても回答してもらった。

不随意痙攣のある対象者には不随意痙攣の強度、頻度および継続時間について質問紙を用いて調査した。平日と休日の2日間の起床から就寝までに起こった不随意痙攣の強度、頻度および継続時間について回答してもらった。不随意痙攣の強度については加速度計で測定した強度を“5”とし、被験者自身が主観的に1～5の5段階で評価した。質問紙による調査は、5段階のそれぞれのレベルでどれくらいの回数の不随意痙攣が起きたか、また1日を通しての平均継続時間について回答してもらった。質問紙の調査結果と実際に測定した強度の相対値から1日に生じる不随意痙攣が及ぼす総量として推定した。回数および継続時間は、平日と休日で差が見られなかったことから、2日間の平均値を算出した。誘発した不随意痙攣の強度の測定データから x 軸（水平面）、y 軸（矢状面）、z 軸（前額面）での実効値をそれぞれ算出した。実効値とは時間信号の平均的な強度である。つまり、計測していた時間における平均強度を表している。x 軸を例にすると次式で算出できる。

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T X(t)^2 dt} \cdots \cdots \textcircled{1}$$

x_{rms} : x 軸での実効値, T : 周期, X(t) : 周期信号

①の式で求められた実効値を各軸での最大強度と推定する。質問紙による5段階の主観的強度の各レベルは①で求めた実効値の相対値として算出した。次に、各軸における不随意痙攣の総量を以下の式で算出した。

$$X = \sum_{k=1}^5 (x_k \times \text{継続時間} \times \text{頻度})$$

その後、各軸での不随意痙攣の総量を次式で合成した。

$$\text{総量} = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

これを、1日に生じた不随意痙攣の総量として考えた。

3) 統計処理

不随意痙攣の有無による筋厚および筋硬度の比較には対応のないt検定を行った。また、筋厚および筋硬度と年齢、損傷年数の関係を調べるため単回帰分析を行った。筋厚および筋硬度と損傷レベルの関係は Spearman の順位相関係数を用いた。筋厚および筋硬度と不随意痙攣の総量の関係は単回帰分析を用いた。統計解析には SPSS Statistics21を用い、有意水準は $P<0.05$ とした。

3. 結 果

1) 筋厚および筋硬度の測定画像

図1は筋厚の測定画像を示している。不随意痙攣のない群は不随意痙攣のある群と比較して、皮下脂肪と大腿直筋、大腿直筋と中間広筋および中間広筋と大腿骨の境目が不鮮明であった。そのため、本研究では不随意痙攣の有無に関わらず全対象者の大腿直筋と中間広筋を1つの筋肉として扱った。図2は各対象者の大腿前面における筋厚の値を示している。筋厚は不随意痙攣のある群で高い値を示し、不随意痙攣のない群で低い値を示す傾向がみられた。

図3は筋の変位量の測定画像を示している。不随意痙攣のない群では不随意痙攣のある群と比較して、筋肉と脂肪が入り混じっていることが観察される。そのため、純粋な筋の硬度を評価することができない。よって、以後筋硬度は大腿前面の変位量として評価した。図4

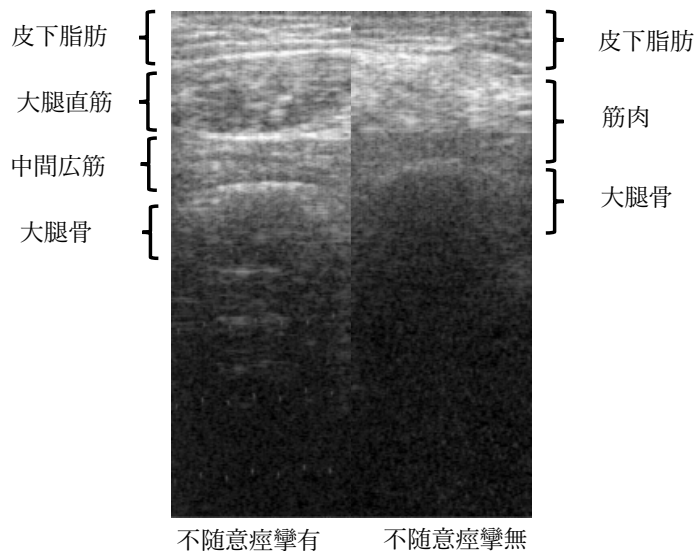


図1 筋厚の超音波装置による計測画像

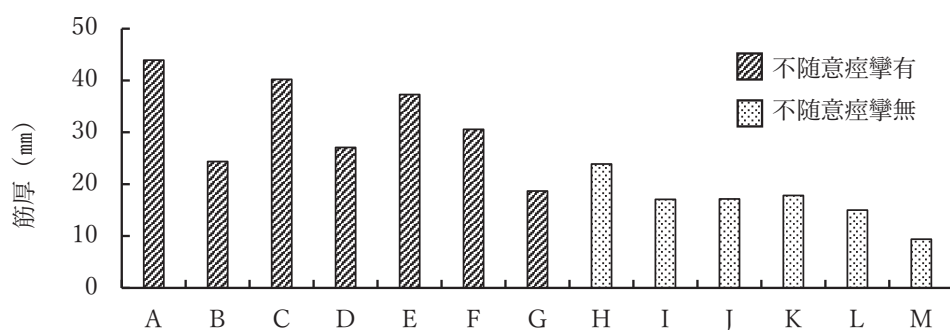


図2 各対象者の筋厚

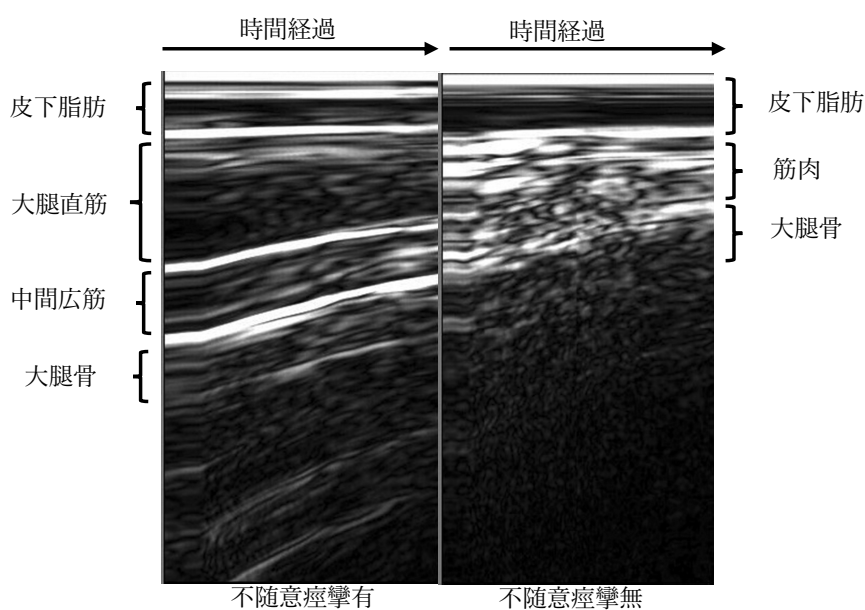


図3 変位量の超音波弾性装置による計測画像

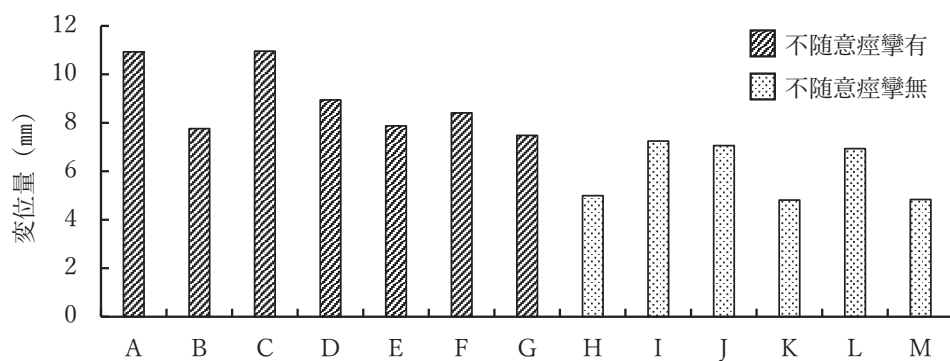


図4 各対象者の変位量

は各対象者の大腿前面の変位量を示している。変位量は不随意痙攣のある群で高い値を示し、不随意痙攣のない群で低い値を示す傾向がみられた。

2) 不随意痙攣の有無からみた筋厚および変位量

図 5 は不随意痙攣の有無からみた筋厚を示している。筋厚は不随意痙攣のある群はない群よりも有意に高い値を示した ($P<0.01$)。筋厚の値が高いほど、筋肉量が多いことを示している。

図 6 は不随意痙攣の有無からみた変位量を示している。変位量は不随意痙攣のある群はない群よりも有意に高い値を示した ($P<0.01$)。変位量の値が大きいということは、測定部位が柔らかいことを示している。

3) 筋厚および変位量と年齢、損傷からの年数および損傷レベルの関係

表 4 は不随意痙攣のある群および不随意痙攣のない群の筋厚と年齢、損傷からの年数および損傷レベルの相関係数を示している。不随意痙攣のない群では、筋厚と有意な相関を示す

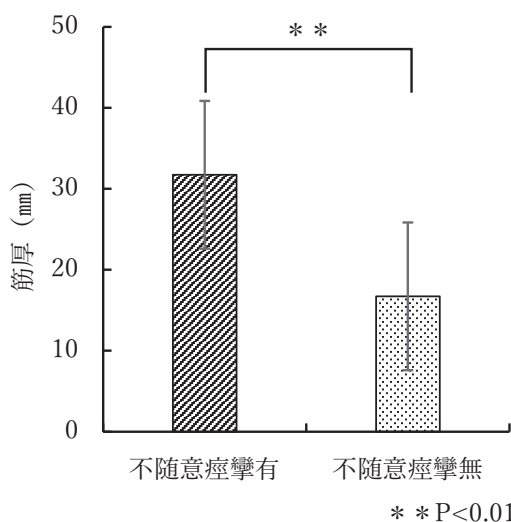


図 5 不随意痙攣の有無による筋厚

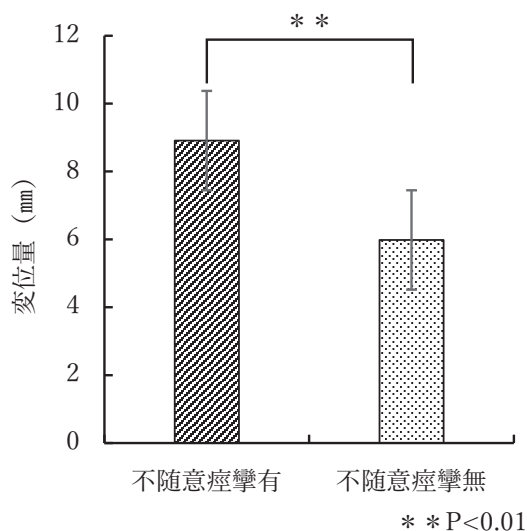


図 6 不随意痙攣の有無による変位量

表 4 筋厚と年齢、損傷からの年数および損傷レベルの関係

	年齢	損傷からの年数	損傷レベル
不随意痙攣有 (n=7)	0.785*	0.715	-0.613
不随意痙攣無 (n=6)	0.581	0.659	-0.794

* $P<0.05$

ものは認められなかった。一方、不随意痙攣のある群の筋厚は、年齢 ($r=0.78, p<0.05$) と有意な相関関係が認められた。

表5は不随意痙攣のある群および不随意痙攣のない群の変位量と年齢、損傷からの年数、および損傷レベルの相関係数を示している。各群ともに変位量と有意な相関を示すものは認められなかった。

表5 変位量と年齢、損傷からの年数および損傷レベルの関係

	年齢	損傷からの年数	損傷レベル
不随意痙攣有 (n=7)	0.591	0.420	-0.667
不随意痙攣無 (n=6)	0.450	0.130	-0.618

4) 筋厚および変位量と不随意痙攣の総量の関係

不随意痙攣のある対象者7名のうち、加速度計を装着して不随意痙攣が誘発できた対象者5名で検証した。図7は不随意痙攣のある群の筋厚と不随意痙攣の総量の関係を示している。

不随意痙攣の総量は筋厚と有意な相関関係が認められなかった。不随意痙攣の総量が最も高い対象者Aは筋厚も高い値を示したが、不随意痙攣の総量が低い対象者でも、筋厚は高い値を示していた。図8は不随意痙攣のある群の不随意痙攣の総量と変位量の関係を示している。変位量は不随意痙攣の総量と有意な相関関係が認められなかった。対象者Aは不随意痙攣の総量が高く、変位量も高い値を示したが、不随意痙攣の総量が低い対象者でも、変位量の高い値を示した。

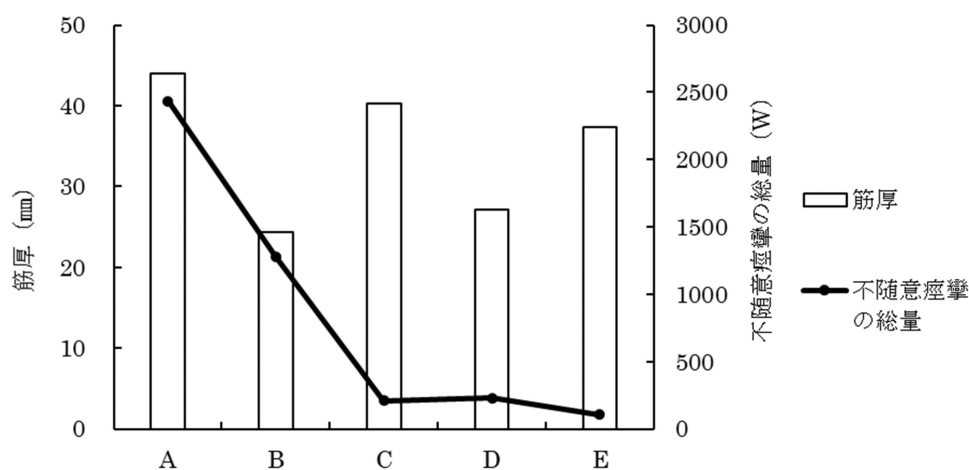


図7 筋厚と不随意痙攣の総量の関係

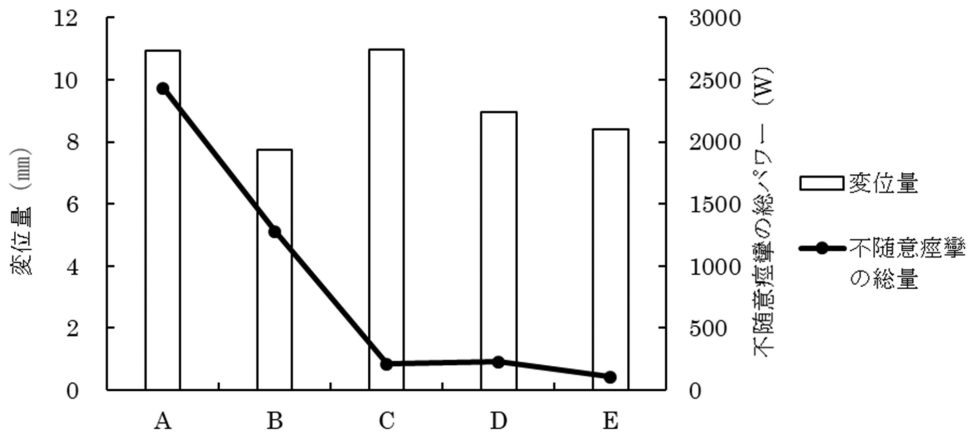


図8 筋変位量と不随意痙攣の総量の関係

4. 考 察

健常者では、筋厚（量）と筋硬度（質）を測定することにより筋力を推定することが可能である（村木ら，2009）が，SCI 者においては大腿直筋と中間広筋の境目が不鮮明であるため，大腿前面の筋肉を 1 つの筋肉として扱うことで筋厚の評価は有効であると考えられる。また，筋肉量を表す指標として，大腿部の太さは測定項目になる可能性がある。しかし，筋硬度は脂肪と筋肉の境界を判断することが困難であったため，筋肉に皮下脂肪を含めた大腿前面の変位量として考えた。

不随意痙攣のある群はない群よりも，筋厚および変位量が高い値を示した。筋厚の値が高いということは筋肉量が多いことを示している。つまり，不随意痙攣がある者は筋肉量が多い（不随意痙攣により筋肉が維持されている）ことが明らかとなった。また，変位量の値が高いということは，測定部位が柔らかいことを示す。一般的に健常者において，優れたスポーツ選手は筋肉が柔らかいといわれる（紺野，1982）。ただし，上述の通り，SCI 者においては測定した変位量が筋肉のみの変位量とは判断できないため，筋の質としての評価はできないと判断した。そのため，今後 SCI 者の大腿部の筋肉は脂肪の境目が明白でないことを考慮し，筋の質を評価する方法を考える必要がある。

不随意痙攣のある群で，筋厚は年齢と有意な相関が認められた。加齢に伴って筋厚が減少するという健常者を対象とした先行研究（村木ら，2012）とは逆の結果を示した。このことから，SCI 者は損傷後に筋肉が委縮するが，不随意痙攣によって筋肉が維持される可能性が考えられた。また，不随意痙攣のある群（32～48歳）の筋厚の平均値は健常者における60～70歳にあたることが示された。このような結果は，これまでにほとんど報告されていない。

そのため、本研究の結果は、SCI 者の麻痺した下肢に関する有益な情報である。

筋厚と不随意痙攣の総量、および変位量と不随意痙攣の総量は有意な相関関係が認められなかった。これは、不随意痙攣の強度、頻度および継続時間は筋肉に影響を及ぼさないことを示している。ただし、本研究では不随意痙攣の総量は各軸での強度、頻度および継続時間の積を合成したものであるため、筋厚および変位量と強度、頻度および継続時間それぞれの関係を明らかにすることはできなかった。

本研究では、誘発させた不随意痙攣を最も強いものと仮定し、この強度に対して対象者自身に主観的に評価してもらった。主観的评价是5段階であるため、同じレベルであっても、違う強度であると考えられる。さらに、最も強く不随意痙攣の起こる動作で誘発させたが、日常的に不随意痙攣の起きている対象者であっても、不随意痙攣が起こらなかった、または最も強い不随意痙攣ではなかった可能性も考えられる。このように実際に1日で起きた不随意痙攣を適切に推定できているのかどうか疑問が残る。不随意痙攣の評価には、主観的評価と客観的評価が用いられる。不随意痙攣の主観的評価法として Ashworth Scale またはその改訂版である Modified Ashworth Scale (MAS) が臨床的に用いられ、客観的評価には筋電図記録 (EMG 記録) や生体力学テストが用いられる。MAS とは、筋緊張評価スケールで、四肢の関節の他動運動の抵抗を6段階に評価するスケールである (Scold et al., 1999)。MAS と EMG 記録は有意な相関関係が認められている (Scold et al., 1998)。そのため、MAS は不随意痙攣を正確に評価できる尺度であるが、理学療法士などの専門家による評価が必要となる。

また、筋厚および変位量と損傷からの年数は有意な相関関係が認められなかった。聞き取り調査での不随意痙攣の経年的変化を調査したところ、経年的に不随意痙攣の強度および頻度が減少したと回答した対象者と、経年的に不随意痙攣の強度および頻度が増加したと回答した対象者がいた。先行研究では、不随意痙攣の経年的変化と損傷からの年数の関係は明らかになっていない。そのため、今後、不随意痙攣の経年的変化を観察していく必要がある。

5. ま と め

本研究は、SCI 者の1日に生じる不随意痙攣の強度、頻度および継続時間が麻痺筋肉量に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。その結果、不随意痙攣は麻痺筋肉量に影響を及ぼしていることが明らかとなった。さらに、不随意痙攣のある群で年齢は正の影響を及ぼしていた。また、損傷からの年数と損傷レベルは麻痺筋肉量に影響を及ぼさないことが明らかとなった。さらに、1日に生じる不随意痙攣の総量は麻痺筋肉量に影響を及ぼさないことが示された。

付 記

本研究は文部科学省科学研究費助成金（若手研究（B）課題番号26750346）により実施された。

引用・参考文献

- アクウェスト株式会社：脊髄損傷に関する再生医療（ES細胞、iPS細胞）の情報 再生医療 iPS細胞の医療情報／ニュースサイト「エスオピ」〈http://n-opi.com/sekizui_sonsyou/〉（2015/01/15アクセス）
- Jozefczyk PB（2002）：The management of focal spasticity. *Clin Neuropharmacol*, 25: 158–173.
- 紺野義雄（1982）：スポーツマンのトレーニング——柔らかい筋肉をつくろう——. 実業之日本社, 東京.
- 村木里志, 福田修, 福元清剛（2009）：筋の厚さ（量）と硬さ（質）から筋力を推定する方法の開発. 第24回健康医科学研究助成論文集, 126–133.
- 村木里志, 福元清剛, 福田修（2012）：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, 45–53.
- 二瓶隆一, 木村哲彦, 牛山武久, 陶山哲夫, 飛松好子（2008）：頸髄損傷者のリハビリテーション 改訂第2版. 協同医書出版社, 東京, pp. 99–101.
- Scold C, Harms-Ringdahl K, Hultling C, Levi R, Seiger A. (1998): Simultaneous Ashworth measurements and EMG recordings in tetraplegic patients. *Arch Phys Med Rehabil*, 79, 959–965.
- Scold C, Levi R, Seiger A (1999): Spasticity after traumatic spinal cord injury: nature, severity, and location. *Arch Phys Med Rehabil*, 80: 1548–1557.
- Sheean G (2002): The pathophysiology of spasticity. *Eur J of Neurol*, 9: 3–9.
- Takahashi K, Tanabe K, Ohnuki M, Narita M, Ichisaka T, Tomoda K, Yamanaka S (2007): Induction of pluripotent stem cells from adult human fibroblasts by defined factors. *Cell*, 131: 861–872.
- 矢部京之助, 大築立志, 笠井達哉（2003）：入門 運動神経生理学～ヒトの運動の巧みさを探る～. 市村出版, 東京, pp. 5–8.

Summary

Effects of Spasticity on Paralyzed Muscle Mass in Persons with Spinal Cord Injury

Yumiko Miki*, Maya Iida** and Masahiro Yamasaki***

This study aimed to determine the effects of intensity, frequency, and duration of daily spasticity on paralyzed muscle mass in persons with spinal cord injury. The subjects were 15 adult males with spinal cord injury, of whom 13 (7 persons with spasticity and 6 without) were analyzed. Two were excluded as they could walk. An ultrasonic elasticity measuring device (MSDB 04-ARM manufactured by MIZOUE PROJECT JAPAN) was used for muscle mass, and an ultrasonic elasticity measuring device (IES -5 type manufactured by Mechatronics Co., Ltd.) developed by Muraki et al (2009) was used for muscle stiffness. Further, questionnaires and interviews were administered for spasticity occurring on a day. The results showed that the presence or absence of spasticity affected paralytic muscle mass. In the group with spasticity, age was significantly positively correlated with paralyzed muscle mass ($r = 0.78$, $p < 0.05$). In contrast, the number of years since injury and the level of injury did not affect paralyzed muscle mass. Further, the total amount of spasticity that occurred daily did not affect paralyzed muscle mass.

* Hiroshima Shudo University

** KYUSHU MAZDA CO., LTD.

*** Hiroshima Bunka Gakuen University