

車いすバスケットボール選手における不活動と
活動骨格筋の異所性脂肪量と皮下組織厚との関連
—超音波エコーを用いて下肢(不活動)骨格筋と
上肢(活動)骨格筋の異所性脂肪を同定する新たなる試み—

帝京平成大学 日置麻也
(共同研究者) 同 久米秀作

**Association of Ectopic Fat Content in Non-Active and Active Muscles with
Muscle or Subcutaneous Fat Thickness in Wheelchair Basketball Players:
New Trial for Identification of Ectopic Fat Content in Skeletal
Muscles of Lower (Non-Active) and Upper (Active) Limbs**

by

Maya Hioki, Shusaku Kume
Teikyo Heisei University

ABSTRACT

The present study aimed to determine the relationship between ectopic fat content and muscle or subcutaneous fat thickness of the upper arm and thigh in eight wheelchair basketball players (mean age, 41.0 ± 10.3 years). Echo intensity and muscle thickness of the biceps brachii (Bi) and rectus femoris (RF), and of subcutaneous fat at same sites were determined by ultrasonography. Echo intensity was taken as ectopic fat content. Echo intensity was calculated based on the mean of a gray scale. Echo intensity was significantly higher for RF than Bi ($p < 0.05$). Echo intensity significantly and inversely correlated with the muscle thickness of Bi and RF (both $p < 0.05$), whereas echo intensity and subcutaneous fat thickness of both muscles did not significantly correlate. A significant inverse association between echo intensity and

muscle thickness persisted in the RF ($p < 0.05$), but not in the Bi after controlling for age. These findings suggest that ectopic fat content correlates with muscle mass in the thigh muscles of male wheelchair basketball players.

要 旨

超音波エコーを用いて定量化した異所性脂肪と筋厚、皮下脂肪厚との関係について、上腕部と大腿部において検討した。車いすバスケットボール男性選手8名(平均年齢 41.0 ± 10.3 歳)において、右上腕前面60%遠位の上腕二頭筋(Bi)と大腿中央の大腿直筋(RF)のエコー強度、筋厚と同部位の皮下脂肪厚を測定した。異所性脂肪は、超音波を用いたエコー強度により定量化した。エコー強度はグレースケールを基に筋内の領域に含まれる全てのピクセルの平均値を算出した。RFはBiと比較して、エコー強度は有意に高値を示した($p < 0.05$)。RFとBiのエコー強度と筋厚は有意な負の相関関係を認めしたが(ともに $p < 0.05$)、エコー強度と皮下脂肪厚の関係は両筋ともに両者間の関係を認めなかった。年齢を制御変数とした偏相関係数では、RFのエコー強度と筋厚との間に有意な負の相関関係を認めしたが($p < 0.05$)、Biでは両者間の関係を認めなかった。以上の結果から、大腿部において、異所性脂肪量と筋量は関連していることが示唆された。

緒 言

生体内において、脂質は皮下脂肪などの脂肪組織に蓄えられる。しかしながら、脂質が脂肪組織以外の肝臓、心臓あるいは骨格筋に、異所性に蓄積されることがある。このような脂肪組織は異所性脂肪と呼ばれており、肥満や2型糖尿病との関連性が指摘されている¹⁷⁾。ヒト骨格筋において異所性脂肪の蓄積が認められる代表的なものでは、脊髄損傷などにより身体活動が制限され

た人々の大腿部の萎縮した筋^{11, 12)}、あるいは加齢に起因した萎縮筋³⁾で認められる。それゆえ、異所性脂肪の蓄積と筋萎縮(筋量の減少)、皮下脂肪量の増加は相互に関連しているものと考えられる。

車いすスポーツに代表される車いすバスケットボールでは、有酸素性と無酸素性の能力が必要とされるスポーツである^{5, 10, 16)}。また、車いす駆動によるターンやダッシュだけでなく、敵に対するブロックやボールをゴールへ入れるなど、全てのプレーが上肢で行われるスポーツである¹⁸⁾。このような車いす駆動を含めた全てのプレーの動力源となるのが上肢の筋群である。車いすアスリートは健常成人と比較して、上腕部の筋量が多く、異所性脂肪量は少ない。一方、大腿部の異所性脂肪量は多く、筋量は少ないことが報告されており¹⁵⁾、このことは、車いすスポーツを行っている人々の骨格筋系組織を構成する筋量、異所性脂肪量、皮下脂肪量は上肢と下肢で大きく異なることを示めている。そこで我々は、車いすスポーツ選手では、異所性脂肪量と筋量、皮下脂肪量の関連性は上肢と下肢で異なると考えた。

本研究は、上腕部と大腿部における異所性脂肪量と筋量、皮下脂肪量との関連を明らかにすることを目的とした。

1. 実験方法

1.1 対象者

対象者は、日本車いすバスケットボール連盟に所属する車いすバスケットボール男性選手8名であった。内訳は、脊髄損傷を伴う選手6名(損傷レベルの範囲、胸椎3～腰椎1)、右下腿切断の

選手1名, 脳性麻痺の選手1名であった。右下腿切断の選手1名は, 日常の移動手段は義足による歩行が可能であった。その他の選手は, 日常の移動手段は車いすを利用していた。本対象者の日常生活は, 自立していた。研究に先だて, 本研究の概要, 目的, 研究に伴う危険性, 研究から得られる有効について説明し, 書面において同意を得た。本研究は, 帝京平成大学の生命倫理委員会の承認を得て実施された。

1.2 超音波

超音波法の測定手順については我々の先行研究に従って実施された^{2,13)}。超音波装置(プロサウンド $\alpha 7$, 日立製作所製)を用いて, Bモード, 8.0-MHz, ゲイン 55dB; 深さ 8cm にて安静時における右上腕部遠位 60%, 右大腿部中央前面から5枚ずつ超音波画像を得た。測定肢位は, 背臥位にて, 上肢は肘関節伸展, 回外位, 下肢は膝関節角度 0-35° 位(完全伸展 = 0°)とし, 各対象者がリラックスして測定が行える膝関節角度に設定した。

1.3 エコー強度

異所性脂肪は, エコー強度によって定量化した。上腕二頭筋と大腿直筋においてエコー強度を測定した(図1)。5枚の画像から算出された5つのエコー強度のうち最大値と最小値は除外し, 残りの3枚の平均値をエコー強度の代表値として用いた。エコー強度は, Image JおよびNIH imageソフトウェア(National Institute of Health)を用いて以下の分析手順にて算出した。超音波装置内にDICOM(Digital Imaging and Communications in Medicine)形式で保存された画像ファイルをパーソナルコンピュータに取り込み, 筋内に関心領域を設定し, スムージング処理を施した。256階調のグレースケールを基に関心領域内に含まれる全てのピクセルの平均値を算出した。関心領域は視覚的観察により骨や筋膜を除外し, できるだけ

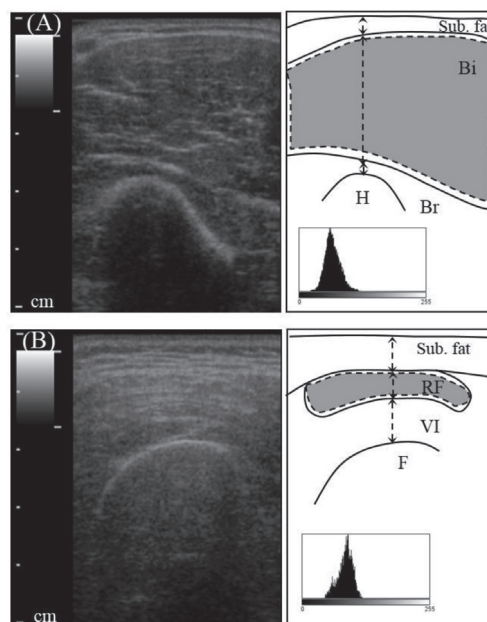


図1 Representative ultrasonographic image of upper arm (A) and thigh (B) of male wheelchair basketball player.

Dotted line, region of interest for echo intensity; dotted arrow, muscle and subcutaneous fat thickness. Bottom panel, region of interest with gray-scale histograms. Bi, biceps brachii; Br, brachialis; F, femur; H, humerus; RF, rectus femoris; Sub. fat, subcutaneous fat; VI, vastus intermedius

全ての筋領域を含むように設定された。エコー強度は, 一人2回測定し, 1回目と2回目の変動係数は, 上腕二頭筋 4.6%, 大腿直筋 2.6% (n = 8)であった。

1.4 筋厚と皮下脂肪厚

筋量と皮下脂肪量は, 筋厚と皮下脂肪厚から推定した。筋厚と皮下脂肪厚は, 超音波画像上においてImageJを用いて測定した。筋厚は, 筋膜から大腿骨上の間, 皮下脂肪厚は, 皮膚の最も浅層部から筋膜上縁の間とした(図1)。全ての測定部位において画像は3枚撮影し, 3枚の平均値を筋厚, 皮下脂肪厚の値として用いた。

1.5 統計処理

全ての統計量は平均値と標準偏差で示した。上腕二頭筋と大腿直筋のエコー強度の比較については, マン・ホイットニーのU検定を用いて統計

表 1 Physical characteristics and body composition of eight male wheelchair basketball players

	Mean ± SD	Range
Physical characteristics		
Age (years)	41.0 ± 10.3	30 - 62
Duration of injury to measurement (years)	16.5 ± 16.7	2 - 43
Time of sports activity (hour/week)	7.8 ± 2.8	3 - 12
Height (cm)	165.7 ± 8.1	154.0 - 177.8
Weight (kg)	59.5 ± 4.9	53.2 - 67.5
BMI (kg/m ²)	21.7 ± 1.9	19 - 24
Waist circumference (cm)	77.7 ± 5.4	67.0 - 83.0
Skeletal muscle thickness		
Biceps brachii (cm)	2.3 ± 0.3	1.9 - 2.6
Brachialis (cm)	0.6 ± 0.3	0.2 - 1.0
Upper arm muscles (cm)	2.9 ± 0.3	2.4 - 3.4
Rectus femoris (cm)	1.3 ± 0.6	0.5 - 2.0
Vastus intermedius (cm)	0.8 ± 0.3	0.6 - 1.6
Thigh muscles (cm)	2.2 ± 0.8	1.4 - 3.6
Subcutaneous fat thickness		
Upper arm (cm)	0.2 ± 0.1	0.1 - 0.4
Thigh (cm)	0.7 ± 0.2	0.4 - 1.0

Upper arm muscles include biceps brachii and brachialis; thigh muscles include rectus femoris and vastus intermedius

解析を行った。また、エコー強度と筋厚、皮下脂肪厚との関係性の分析にはスピアマンの順位相関係数を用いた。さらに、エコー強度と筋厚、皮下脂肪厚との関係性に有意性が認められた場合については、年齢で調整した両者間の関係性の確認として、偏相関係数を用いて統計解析を行った。有意水準は5%未満とした。

2. 実験結果

表 1 は、対象者 8 名の身体特性および身体組成を示した。

図 2 はエコー強度における上腕二頭筋と大腿直筋の比較を示した。エコー強度において大腿直筋は上腕二頭筋と比較して有意に高値を示した ($p < 0.05$)。

図 3 は上腕二頭筋と大腿直筋のエコー強度と筋厚の関係を示した。上腕二頭筋におけるエコー強度と筋厚の間に有意な負の相関関係が認められた ($r_s = -0.71, p < 0.05$)。また、大腿直筋におけるエコー強度と筋厚の間に有意な負の相関関係が認められた ($r_s = -0.76, p < 0.05$)。さらに、偏相関係数により、年齢を制御変数とし、エコー強度と筋厚の関係性について検討したところ、大腿直筋に

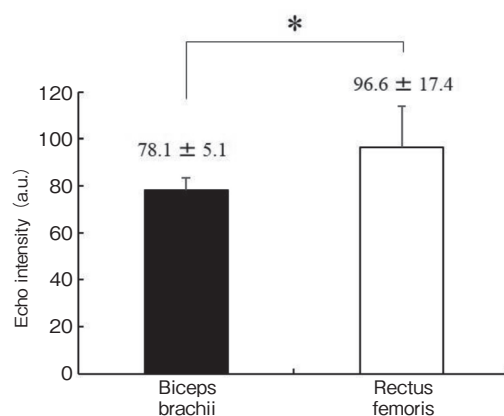


図 2 Comparison of echo intensity between biceps brachii and rectus femoris
* $p < 0.05$.

において有意な負の相関関係を認めたが ($r_s = -0.84, p < 0.05$)、上腕二頭筋においては両者間の関係を認めなかった ($r_s = -0.47, p = 0.28$) (表 2)。

図 4 は、上腕二頭筋と大腿直筋のエコー強度と皮下脂肪厚の関係を示した。上腕二頭筋、大腿直筋ともにエコー強度と皮下脂肪厚の間に有意な相関関係を認めなかった ($r_s = 0.64, p = 0.09; r_s = -0.14, p = 0.73$)。

3. 考察

本研究は、車いすバスケットボール選手を対象

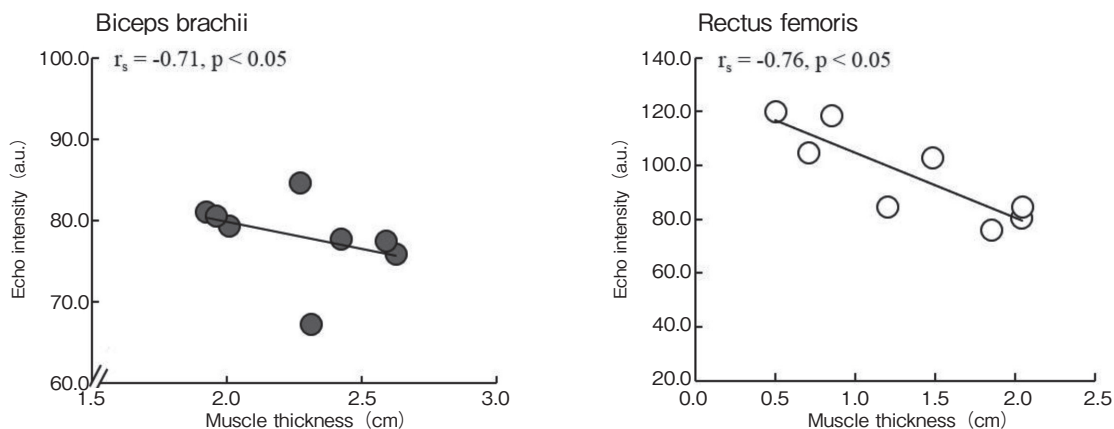


図3 Relationship between echo intensity and muscle thickness.
a.u., arbitrary units.

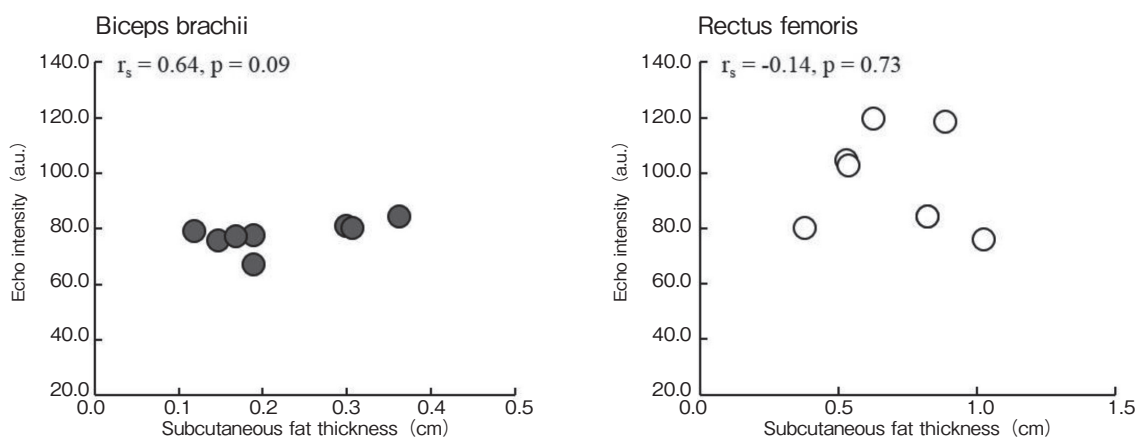


図4 Relationship between echo intensity and subcutaneous fat thickness.
a.u., arbitrary units.

表2 Partial correlation coefficients between echo intensity and muscle thickness for biceps brachii and rectus femoris

Control variables		Partial correlation coefficients with muscle thickness
Echo intensity		
Biceps brachii	Age	-0.47
Rectus femoris	Age	-0.84*

*p<0.05

に、上腕部と大腿部のエコー強度により定量化した異所性脂肪と筋厚、皮下脂肪厚との関係性について検討した。エコー強度において、大腿直筋は上腕二頭筋と比較して有意に高値を示した。上腕二頭筋、大腿直筋ともに、エコー強度と筋厚との間に、有意な負の相関関係を認めた。さらに、年齢を制御変数とした偏相関係数を用いて検討した

ところ、大腿直筋のエコー強度と筋厚との間に有意な負の相関関係を認めたが、上腕二頭筋では両者間の関係を認めなかった。また、両筋ともにエコー強度と皮下脂肪厚の間には有意な相関関係を認めなかった。以上のことから、大腿部の異所性脂肪量と筋量は関連していることが示唆された。

本研究はエコー強度を用いて異所性脂肪を定量化し、上腕二頭筋と大腿直筋のエコー強度を比較したところ、大腿直筋のエコー強度は、上腕二頭筋のエコー強度と比較して有意に高値を示した。この結果は、磁気共鳴映像法 (magnetic resonance imaging, MRI) を用いて異所性脂肪を定量化した

結果¹⁵⁾と一致していた。脊髄損傷後では、骨格筋の不活動状態が誘因で、急速な下肢筋群の筋萎縮や異所性脂肪の増加が引き起こされることが知られている^{6, 9, 11-12)}。Mojtahediら¹⁵⁾は、車いすアスリートを対象に、MRIを用いて上腕部と大腿部の筋量と異所性脂肪量を測定した。その結果、大腿部では筋量に対し異所性脂肪量は平均13%、上腕部では筋量に対し異所性脂肪量は平均0.4%を示し、大腿部は上腕部と比較して異所性脂肪は高値を示した。さらに、車いすアスリートと健常成人の異所性脂肪量を比較したところ、車いすアスリートは、健常成人と比較して、大腿部の異所性脂肪は有意に高値を示し、上腕部の異所性脂肪は有意に低値を示した。健常者が行うバスケットボールでは、下肢の大筋群が、走行の動力源となるのに対し、車いすバスケットボールでは、上肢の筋群が、車いす駆動の動力源となる。車いすバスケットボールでは、車いす駆動によるダッシュやターンだけでなく、相手に対するブロックやボールをゴールへ入れることなど、全てのプレーが上肢で行わなければならない¹⁸⁾。このようなスポーツ特性が、上肢の異所性脂肪量の減少を引き起こし、その結果、上肢と下肢の異所性脂肪量が顕著な差として示されたと推察される。以上のことから、本対象者において、大腿直筋の異所性脂肪量は上腕二頭筋の異所性脂肪量と比較して高値を示す、という先行研究と同様の結果が得られたものと考えられた。

上腕二頭筋、大腿直筋ともにエコー強度と筋厚は有意な相関関係を認めた。この結果は、エコー強度と筋厚の関係性を調べた我々の先行研究¹³⁾と一致した結果であった。安部と福永¹⁾は、日本の健常成人における大腿部筋厚(大腿直筋と中間広筋の和)を測定した。大腿部筋厚(平均値 ± SD)において、先行研究と本対象者の値を比較したところ、本結果(2.2 ± 0.8cm)は、健常成人(4.7 ± 0.7cm)と比較して低値を示していた。この結

果から、本対象者の大腿部筋群は顕著な筋量の減少が引き起こされているものと推察される。さらに、本対象者は、年齢範囲(30歳~62歳)から判断して、対象者の筋は加齢による影響を受けていることが予測される。そこで、偏相関係数を用いて年齢を制御変数とし、エコー強度と筋厚の関係性を検討したところ、上腕二頭筋ではエコー強度と筋厚との間に有意な相関関係は示されなかった。これらは、中高齢者を対象とした我々の先行研究¹³⁾と一致した結果であり、上腕二頭筋ではエコー強度と筋厚の関係性は加齢による影響が介在していることを示唆している。一方、年齢による影響を取り除いても、大腿直筋ではエコー強度と筋厚との間に有意な相関関係を認めた。6週間のベッドレスト研究によると、ベッドレスト前と比較してベッドレスト後では、大腿部筋群の横断面積は14%減少を示した⁴⁾。これに対し、脊髄損傷6週間後の大腿部筋群の横断面積は、健常成人と比較して33%の低値を示し、脊髄損傷後では顕著な筋萎縮(筋量の減少)が示される¹²⁾。これらのことから、本対象者においても、顕著な筋萎縮とそれに伴う異所性脂肪の蓄積が示されたものと推察される。また、本対象者は、障害を受けてから測定までの期間の幅が2~43年であった。Gorgeyら¹²⁾によると、脊髄損傷から測定までの期間が長いほど大腿部における筋量の減少や異所性脂肪量の増加は顕著に認められる。一方、トレーニング期間が長い対象者の上腕部では、筋量の増加や異所性脂肪量の減少が予測される。これらのことから、障害を受けてから測定までの期間の違いが、本対象者の上腕部と大腿部の筋量や異所性脂肪量に影響している可能性も留意する必要がある。

本結果では、上腕二頭筋、大腿直筋ともに、エコー強度と皮下脂肪厚との間に有意な相関関係は認められなかった。先行研究^{9, 12, 14)}が示したMRIの横断画像を確認すると、脊髄損傷により

下肢に障害のある対象者は、健常成人と比較して皮下脂肪量は顕著に多いことが示されている。しかしながら、本対象者の値と先行研究の値¹⁾を比較したところ、上腕部の皮下脂肪厚では、本結果 ($0.2 \pm 0.1\text{cm}$) は、健常成人 ($0.5 \pm 0.1\text{cm}$) と比較して低値を示し、大腿部の皮下脂肪厚では、本結果 ($0.7 \pm 0.2\text{cm}$) と健常成人 ($0.7 \pm 0.2\text{cm}$) は同じであった。当初、我々が予測していた、本対象者の大腿部の皮下脂肪厚は健常成人と比較して高値を示すという結果とは異なっていた。車いすバスケットボールは、有酸素性、無酸素性能力を高める効果が得られる¹⁶⁾。このようなスポーツ特性が、エコー強度と皮下脂肪厚との関係に影響していたのかもしれない。

4. まとめ

本研究では、車いすバスケットボール選手を対象に、上腕部と大腿部において、エコー強度により定量化した異所性脂肪と筋厚、皮下脂肪厚との関連性について検討した。その結果、大腿直筋は上腕二頭筋と比較してエコー強度は有意な高値が示された。また、大腿直筋、上腕二頭筋ともに、エコー強度と筋厚との間に有意な相関関係を認めた。さらに、偏相関係数を用いて年齢を制御変数とし、両者の関係性を調べたところ、大腿直筋にのみ両者間に有意な相関関係を認めた。一方、上腕二頭筋、大腿直筋ともにエコー強度と皮下脂肪厚の間に有意な相関関係は認められなかった。以上の結果から、大腿部の異所性脂肪量と筋量は関連していることが示唆された。

我々は、車いすバスケットボール選手を対象に、簡易的に評価することができる超音波を用いて、異所性脂肪を定量化することを試みた。車いすでの生活は、身体活動量の低下をもたらし、動脈硬化や生活習慣病のリスクを増加させる^{7,8)}。また、生活習慣病の進展と異所性脂肪の蓄積との関連が指摘されており、車いすスポーツは身体活動量の

低下予防の一つとして重要な役割を果たしている。本研究で得られた結果は、車いすスポーツを行っている選手だけでなく日常生活において車いすを利用している人々にとって有益な情報になるものと考えられる。

謝 辞

本研究の遂行にご助成賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に心よりお礼申し上げます。また、本研究にご協力頂いた、車いすバスケットボール選手の皆様、千葉市ハーモニープラザ・障害者相談センターおよび障害者福祉センターのスタッフの皆様、愛知淑徳大学健康医療科学部・池上康男先生、帝京平成大学健康医療スポーツ学部・小林康孝先生、東海学園大学健康栄養学部・松島佳子先生に深く感謝致します。

文 献

- 1) 安部孝, 福永哲夫: 日本人の体脂肪と筋肉分布. 杏林書院, 146-148 (1995)
- 2) Akima H., Hioki M., Yoshiko A., Koike T., Sakakibara H., Takahashi H., Oshida Y.: Intramuscular adipose tissue determined by T1-weighted MRI at 3T primarily reflects extramyocellular lipids. *Magn. Reson. Imaging*, **34**: 397-403 (2016)
- 3) Akima H., Yoshiko A., Hioki M., Kanehira N., Shimaoka K., Koike T., Sakakibara H., Oshida Y.: Skeletal muscle size is a major predictor of intramuscular fat content regardless of age. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **115**: 1627-1635 (2015)
- 4) Berg H.E., Larsson L., Tesch P.A.: Lower limb skeletal muscle function after 6 wk of bed rest. *J. Appl. Physiol.*, **82**: 182-188 (1997)
- 5) Bhambhani Y.: Physiology of wheelchair racing in athletes with spinal cord injury. *Sports Med.*, **32**: 23-51 (2002)
- 6) Castro M.J., Apple D.F., Jr. Hilleagass E.A., Dudley G.A.: Influence of complete spinal cord injury on skeletal muscle cross-sectional area within the first 6 months of injury. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, **80**: 373-378 (1999)

- 7) Dolbow D.R., Gorgey A.S.: Effects of Use and Disuse on Non-paralyzed and Paralyzed Skeletal Muscles. *Aging Dis.*, 7: 68-80 (2016)
- 8) Dolbow D.R., Gorgey A.S., Gater D.R., Moore J.R.: Body composition changes after 12 months of FES cycling: case report of a 60-year-old female with paraplegia. *Spinal Cord*, 52 Suppl 1: S3-4 (2014)
- 9) Elder C.P., Apple D.F., Bickel C.S., Meyer R.A., Dudley G.A.: Intramuscular fat and glucose tolerance after spinal cord injury--a cross-sectional study. *Spinal Cord*, 42: 711-716 (2004)
- 10) Goosey-Tolfrey V.L., Leicht C.A.: Field-based physiological testing of wheelchair athletes. *Sports Med.*, 43: 77-91 (2013)
- 11) Gorgey A.S., Dolbow D.R., Dolbow J.D., Khalil R.K., Castillo C., Gater D.R.: Effects of spinal cord injury on body composition and metabolic profile - part I. *J. Spinal Cord Med.*, 37: 693-702 (2014)
- 12) Gorgey A.S., Dudley G.A.: Skeletal muscle atrophy and increased intramuscular fat after incomplete spinal cord injury. *Spinal Cord*, 45: 304-309 (2007)
- 13) 日置麻也, 鳥岡清, 柴田優子, 秋間広: 中高齡女性における筋内脂肪指標と筋機能および筋形態との関係. *トレーニング科学*, 24: 261-269 (2012)
- 14) McCully K.K., Mulcahy T.K., Ryan T.E., Zhao Q.: Skeletal muscle metabolism in individuals with spinal cord injury. *J. Appl. Physiol.*, 111: 143-148 (2011)
- 15) Mojtahedi M.C., Valentine R.J., Arngrimsson S.A., Wilund K.R., Evans E.M.: The association between regional body composition and metabolic outcomes in athletes with spinal cord injury. *Spinal Cord*, 46: 192-197 (2008)
- 16) Schmid A., Huonker M., Stober P., Barturen J.M., Schmidt-Trucksass A., Durr H., Volpel H.J., Keul J.: Physical performance and cardiovascular and metabolic adaptation of elite female wheelchair basketball players in wheelchair ergometry and in competition. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.*, 77: 527-533 (1998)
- 17) Szendroedi J., Roden M.: Ectopic lipids and organ function. *Curr. Opin. Lipidol.*, 20: 50-56 (2009)
- 18) Wang Y.T., Chen S., Limroongreungrat W., Change L.S.: Contributions of selected fundamental factors to wheelchair basketball performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 37: 130-137 (2005)