体脂肪量測定之最善の方法は何か；

障害者の適用性についての検討

What's the Best Way to Measure Total Body Fat; The Applicability to Disabled Subjects

近藤 照彦¹⁾ 山西 哲郎²⁾ 小林 功³⁾

TERUHIKO KONDO, MA¹⁾, TETSURO YAMANISHI, MA²⁾ AND ISAO KOBAYASHI, PhD(MD)³⁾

¹⁾Sawatari Spa Hospital: 2136 Kamisawatari, Nakanojou-machi, Agatsuma-gun, Gunma, 377-05 Japan.
TEL +81 279-66-2121.

²⁾Faculty of Education Gunma University

³⁾Department of Laboratory Medicine, Gunma University

J. Exerc. Physiol. 9(2): 107-113, 1994. Received April 10, 1994.

ABSTRACT: In order to elucidate the best way to measure total or local body fat, we outlined the recent literatures and pointed out the problems involved in each method. We further reported the findings on the applicability of the methods to hemiplegic patients after stroke and to paraplegic patients with spinal cord injury. The method of choice to measure body fat of healthy subjects is at present considered hydrodensitometry. Disabled subjects may exhibit different body composition from healthy subjects, possibly showing characteristic composition which mirrors the nature of disability. Further studies are therefore needed to develop a formula to calculate body density of disabled subjects, and body composition of disabled subjects remained to be elucidated.

Key words: body fat measurement, body composition, body density

要旨 本稿では、全身及び局所の脂肪量を算出する場合の問題点に関する最近の文献を概説し、最善の方法は何であるかを明らかにすることである。さらに、脳血管障害片麻痺者や脊髄損傷対麻痺患者への適用について筆者らの行った僅かな知見を報告する。現段階では、健常者の脂肪量測定における最善の方法は、水中体重秤量法による密度法であると考えられている。また、障害者の身体組成は、健常者のそれとは異なるものと推察され、障害の内容を反映する身体組成を示す可能性が考えられる。したがって、障害者へも適用する身体密度推定式を開発することが課題である。障害者の身体組成に関する研究課題は、山積みされている現状にある。

キーワード: 体脂肪厚測定, 体組成, 体密度

1)群馬県医師会沢渡温泉病院: 群馬県吾妻郡中之条町大字上沢渡 2136 (〒377-08) TEL 0279-66-2121.

2)群馬大学教育学部

3)群馬大学医学部臨床検査医学・中央検査部

受付日1994年4月10日

I はじめに

Stamford(1987)¹⁾は、体脂肪の重要性に関する論文の中で、脂肪は、第一義的に人体の構成要素であり、解剖学的、生理学的に必要なものを必須脂肪、これ以外の脂肪を貯蔵のためのものと定義し、過剰な脂肪量を算出するには、肥満と過体重とを明確に区別すること、それを算出する最善の方法は、体脂肪率を求めることであると指摘している。体脂肪率(量)の測定は、全身の脂肪量(密度法、水分法、カリウム法、DEXA法=二重X線吸収法、クレアチニン法、密度・水分・ミネラル併用法)と局所の脂肪量(X線法、キャリパー法、超音波法、BIA法=インピーダンス法、近赤外線法、CT法、MRI法)を求める方法²⁻⁸⁾がある。そして、両者を結びつける局所の測定値より全身の脂肪量を推定する方法が一般に普及している。最も正確な測定法として密度法があげられる。この方法は、キャリパー法、BIA法、超音波法および近赤外線法といった局所の簡便法による体脂肪率推定のための妥当基準として用いられている。しかし、密度法にもその精度に関する問題点が指摘されている⁹⁾。第1点は身体密度から体脂肪率を算出する場合の Brožek らの式¹⁰⁾である。

その算出は、白人の成人男性を対象としており、日本人への適用の可否が問題となる。また、日本人用の身体密度推定式として Nagamine and Suzuki の式¹¹⁾が広く用いられているが、この式は20歳代で特にスポーツを実施していない青年を対象として作成されていることから対象外への適用については不適切である。北川(1993)⁹⁾は、この点を考慮し、20歳から59歳まで適用範囲を広げ、かつ精度を高めた推定式を作成している。第2点は、残気量の問題である。Barnes(1987)¹²⁾は、体脂肪量が30%以上の者では7.3%の誤差が、体脂肪量が10%のスポーツ選手の場合は22%にも達すると指摘している。しかし、残気量の測定は腸内ガス量の確定が難しいため、研究者によってその量が一律ではない。北川ら(1993)¹³⁾が開発した新型の水中体重計は、現場に即応できるタイプに作成されていることから基本的に不確定な残気

量を計算に入れていない。第3点は、骨ミネラルの問題であり、これは、加齢に伴い骨ミネラルが減少するため、高齢者の体脂肪率を多く見積もることを指摘している¹⁴⁾。さらに性差も影響するため、Brožek らの式¹⁰⁾を適用する場合の問題点へも発展する。身体密度だけから体脂肪率算出式の問題点を解決するため、Lohman(1992)¹⁵⁾は、身体密度に水分とミネラル容量を加えた体脂肪率算出式を提言している。

第4点は、除脂肪体重の密度の均一性が発育期にある者や高齢者では異なることである¹³⁾。このことは、発育の遅滞や形態の変化を呈する障害者(先天的・後天的原因による)にも影響するものと思われる。以上のような問題点があるものの、密度法は現段階において最善の方法として考えられている。

本稿では、上述した内容に加えて局所の皮下脂肪から全身の脂肪量を測定する場合の問題点に関する最近の文献をレビューする。さらに、脳血管障害片麻痺者や脊髄損傷対麻痺者への適用について筆者らの行った僅かな知見を報告する。なお、測定法について詳細にわたってまとめられているのは Forbes(1987)¹⁶⁾の Human Body Composition がある。また、本邦においても身体組成に関する著書²⁻⁸⁾がある。

II 局所の脂肪量の測定方法上の問題点

1) X線吸収法

局所の脂肪量の測定法としてX線による方法が古くから行われてきた。近年では、(Dualenergy X-ray absorptiometry, DEXA: 通称デクサ)が開発されその有用性も高いことが報告されている¹⁷⁾。最近では、脂肪量よりも骨塩量の測定から骨粗鬆症の診断・研究に応用されている。測定における放射線被爆が一番の問題点である。

2) 形態学的計測法

Overendら(1993)¹⁸⁾は、形態計測法では筋と骨の横断面積と容積を4%から6%過大評価し、皮膚と皮下脂肪組織の横断面積と容積を17%から33%過小評価することを指摘した。

また、形態法から推定される筋横断面積と筋容積の相関をみたところ、屈筋($r=0.42$ から 0.65)よ

りも伸筋 ($r=0.8$ から 0.96) の方がより正確であることを指摘している。筋力を単位筋量当たりで正規化する際には形態法の評価も重要と思われる。

de Koning ら(1986)¹⁹⁾は、形態法による推定断面積は、CT 法によるそれよりも有意に大きく、その相対的差異は、皮下脂肪厚の増加に伴って大きくなることを明らかにしている。この差異は、キャリパー法で測定した皮下脂肪厚が低く見積もられた結果が反映されたものである。このように形態計測法から骨断面積を推定する場合、正確性に問題があることを考慮しなければならない。

3) キャリパー法・超音波法

キャリパー法による皮下脂肪厚の測定が現在最もポピュラーな方法として広範に用いられているが、測定値の信頼性に乏しい。その原因は、測定値の変動要因が多いことにある。すなわち、検者の皮膚のつまみ方、被験者の皮膚の張り具合が影響し測定精度を低くするからである²⁰⁾²¹⁾。Oppliger ら(1992)²²⁾は、皮下脂肪厚測定講習会に参加してキャリパーを繰り返し練習することによって検者間の誤差を最小限にとどめることができ、信頼性を高めることができると報告した。検者は皮膚のつまみ方を十分練習することによってつまみ方の問題は解決できそうである。しかし、皮膚の張り具合が強い者は部位によってつまめない場合もある。筆者の経験では、大腿前部や後部の筋が肥大しているスポーツ選手や筋の萎縮を呈する対麻痺者、さらに片麻痺で患側の痙性が強い者は、非常に皮膚をつまみにくい。一方、超音波法による皮下脂肪厚の測定は、屍体を用いた直接法との差も 5 % 以内⁷⁾ とその精度はかなり高く²³⁾²⁴⁾、簡便かつ放射線被曝がないため、キャリパー法の問題点をかなり解決することができる。Weiss and Clark (1987)²⁵⁾は、キャリパー法、A モード超音波法および B モード超音波法を用いて、上腕前部と後部の皮下脂肪厚を測定し、各測定法値間の相関を調べた。その結果、上腕部の皮下脂肪厚の測定において、3つの測定法で測定値が一致しないことを明らかにしている。さらに、上肢同様な方法で下肢についても検討した結果、測定部位ごとの皮下脂肪厚の基準値が求められないので、どの測定法が妥当性が高いのかはわからず、3 種の方法によって得られた測定値を交換し

合うことは不適當であると指摘した²⁶⁾。Hayes ら(1988)²⁷⁾は、標準的な脂肪量であれば、キャリパー、A モードおよび B モード超音波法によって局所の皮下脂肪厚の測定が可能であることを確認した。しかし、ひとつの方法によって多くの特定部位について測った皮下脂肪厚の分布は、同一個人においても他の 2 方法のいずれかによって代替えすることできないことを指摘している。このことから、局所の脂肪量の測定においては、較正值(基準値)を密度法に置く限り、それぞれの測定法から得られた値を比較することはあまり意味のないことと考えられよう。

4) MRI 法

新たに開発された核磁気共鳴映像法 (Magnetic Resonance Imaging) は、強力な磁気を応用した断層映像法であり、CT 法より鮮明でかつ、横断面のみならず縦断面画像を得ることができる。最も大きな利点は、放射線被曝がないことであるが、長期間の影響について統一された見解がない。また、CT 法より高価な設備を投資しなければならず、現場への測定には限界がある。そのため、脂肪量に関する研究は数少ない。

5) BIA 法

最近、簡便法として BIA 法が普及してきている。既に家庭用品として小型器が市販されているが、北川ら(1993)¹³⁾は、測定原理に関して電流が身体の中のどの部位に流れ、何を測定しているのかわからないと指摘している。しかし、キャリパー法との相関も高いことが報告されているため信頼性に関してははっきりしない。BIA 法に関する問題点として発汗などによる体液の減少によって、BIA 法から求めた体脂肪率は正確な値を表さない²⁸⁾。つまり、外界の温度変化に伴い皮膚温が変化することを考慮しないと体内の水分量や体脂肪率に影響が現れる²⁹⁾。BIA 法で決定された体脂肪率はおよそ一定の値となり、高い、あるいは低い体脂肪率の者であっても、平均値が近似する傾向になりがちであると指摘している³⁰⁾。

以上の結果をみる限り、BIA 法の信頼性を問題にするならば、測定は十分に統一された外界の状況のもとでのみ用いられるべきであろうと思われる。つまり、測定の生理的限界を把握し使用する必要があると考えられる。

Fig. 1. The ratio of whole body fat thickness in patients with paraplegia

図は、対麻痺の完全麻痺 (Th_{12}) と不完全麻痺 (Th_{12}) 代表例の全身の皮下脂肪厚分布パターンを健常者代表例と比較するため上肢、体幹及び下肢 65 箇所の皮下脂肪厚値を健常者との比で示した。対麻痺は、健常者に比べ上肢の皮下脂肪厚が厚く沈着することがわかる。

Fig. 2. Distribution of subcutaneous fat thickness viewed from the back in the paraplegis and healthy subjects

図は、対麻痺の完全麻痺 (Th_{12}) と不完全麻痺 (Th_{12}) および健常者代表例 (筆者) の全身の皮下脂肪厚分布パターンを示した。対麻痺は、健常者に比べ上肢の皮下脂肪厚が少なく、下肢の皮下脂肪厚が厚く沈着することがわかる。

III 障害者への適用

障害者を対象とした身体組成に関する研究は、重症心身障害者の身体組成に関する研究³¹⁻³⁹⁾がみられる。しかし、脳血管障害や脊髄損傷例に関する研究はきわめて少ない。これまでの研究を概説し、筆者らが行った検討内容を報告し、片麻痺者や対麻痺者への適用性について以下にまとめてみる。Bulbulian ら(1978)⁴⁰⁾は、健常者用の皮下脂肪厚法から算出される対麻痺の身体密度は、上半身と下半身の脂肪量に差異がみられるため、全身の体密度を十分反映した結果を得るには不十分であることを推察している。

Goswami ら(1987)⁴¹⁾は、ポリオまたは脊髄損傷によって障害を受けた部位(麻痺領域)は、成長の遅滞や形態の後天的変形がみられ、障害の内容を反映する形態的な変化を示すことを明らかにしている。さらに、この変化は進行することを示唆している。

これまでの研究成果をみる限りでは、障害者の身体組成は、健常者と異なるものと推察される。つまり、障害内容を反映した身体組成を示す可能性が考えられる。しかし、この方面の研究はみられず、障害者へも適用できる身体密度推定式を開発することが課題であり、しだいに障害者の身体組成が明らかにされるであろう。

近藤ら(1993)⁴²⁾は、片麻痺の全身の皮下脂肪厚は、健側、患側ともキャリパー法と超音波法の測定値間に明らかな差異がみられ、キャリパー法による測定値は、片麻痺の全身の皮下脂肪厚を十分に反映していないことを指摘した。さらに、片麻痺の患側下肢は、痙性と筋緊張が亢進し、つまむことが出来ないためキャリパー法の測定の限界を示す典型例であることを指摘している。また、片麻痺の患側上下肢の皮下脂肪厚は、健側に比べ厚く沈着する傾向であり、障害の内容を反映した皮下脂肪厚分布を示すことを推察している。

近藤ら(1993)⁴³⁾は、対麻痺(車椅子使用者)の皮下脂肪厚分布の特徴を超音波によって検討した。すなわち、その特徴は、上肢の皮下脂肪厚の沈着が健常者に比べ顕著に少なく分布し、麻痺領域の下肢は厚く沈着することである。また、形態法や超音波法から下肢の周径囲や筋厚を測定すると対麻痺は、健常者と比べ周径が細く、局所の筋厚は薄い傾向であったが、皮下脂肪厚は、厚く沈着していた。上肢の皮下脂肪厚の少ないことは、上肢主体の車椅子駆動による長期間かつ、代償機能が余儀なくされた上肢筋群のトレーニングに反映された結果であると説明できる。しかし、麻痺下肢の皮下脂肪厚の沈着が大きい原因を説明するに至るまでのメカニズムについては不明である。なお、この傾向は、不完全対麻痺者(車椅子使用者)でもそうであり、麻痺による神経系の影響が関わるのか否か、被験者を増やしつつさらなる検討が必要である(Fig.1・2)。

IV おわりに

本稿では、体脂肪量測定に関する文献から測定法の問題点について概説した。また、障害者の適用について、筆者らの知見をふまえて今後の課題について述べた。統括的論議として提唱する[密度法のかかえる生理的限界を把握すること]の重要性を誰もが訴えつつ、現段階では健常者の脂肪量の測定に関する最善の方法は、水中体重秤量法による密度法であると考えられている。障害者の体脂肪量測定に関する研究課題は山積みされている。現状では、キャリパー法によって局所の皮下脂肪厚を測定し、健常者用に開発された体密度推定式から全身の脂肪量を推定している。現在、健常者において密度法が最善の方法とするならば、今後の課題として障害者用の推定式を作成することである。そして測定法に関する障害者の適用性について検討することが今後の課題であろうと言える。

引用文献

- 1) Stamford B : What's the importance of percent body fat. *The Physician and Sports Medicine*, 15(3): 216, 1987.
- 2) 北川 薫 : 肥満者の脂肪量と体力. 杏林書院, 東京, 1984.
- 3) 北川 薫 : 身体組成とウエイトコントロール〜子供からアスリートまで〜. 杏林書院, 東京, 1991, pp20-32.
- 4) 下方浩史 : 体脂肪分布—腹部型肥満の基礎と臨床. 杏林書院, 東京, 1993, pp20-52.
- 5) 日本肥満学会編 : 肥満症—診断・治療・指導のてびき一. 医歯薬出版, 東京, 1993, pp14-23.
- 6) 小宮秀一, 佐藤方彦, 安河内朗 : 体組成の科学. 朝倉書店, 東京, 1988, pp21-46.
- 7) 福永哲夫, 金久博昭 : 日本人の体肢組成. 朝倉書店, 東京, 1990, pp8-24.
- 8) 福永哲夫 : ヒトの絶対筋力—超音波法による体肢組成—筋力の分析. 杏林書院, 東京, pp23-74, 1978.
- 9) 北川 薫 : 身体組成を計る. *体育の科学*, 43(4):252-256, 1993
- 10) Brożek J, et al.: Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions. *Ann NY Acad Sci*, 110: 113-140, 1963.
- 11) Nagamine S, et al. : Anthoropometry and body composition of Japanese young men and women. *Human Biol*, 36: 8-15, 1964.
- 12) Barnes L : Hydrostatic weighing: accuracy challenged. *The Physician and Sport Medicine*, 15(3): 41-44, 1987.
- 13) 北川 薫・他 : Health Related Physical Fitness Testとしての体脂肪量の測定法. *J J Sports Sci*, 12(10): 655-660, 1993.
- 14) Snead DB, et al.: Age-related differences in body composition by hydrodensitometry and dual energy X-ray absorptiometry. *Journal of Applied Physiology*, 74(2): 770-775, 1993.
- 15) Lohman TG : Skinfold and body density and their relation to body fatness. *Human Biology*, 53(2): 181-225, 1981
- 16) Forbes GB : *Human Body Composition*. Springer Verlag, a) pp55-100, b) 179, 1987.
- 17) Lay CJ, et al.: Sex-and menopause-associated changes in body- fat distribution. *Am J Clin Nutr*, 55: 950-954, 1992.
- 18) Overend TJ, et al.: Anthropometric and computed tomographic assessment of the thigh in young and old men. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 18(3): 263-273, 1993.
- 19) de Koning FI, et al.: Accuracy of an anthropometric estimate of the muscle and bone area in a transversal cross-section of the arm. *International Journal of Sports Medicine*, 7(5): 246-249, 1986
- 20) 西岡伸紀 : 皮下脂肪厚の測定について—キャリパー法による測定を中心に. *体育の科学*, 34: 535-538, 1984.
- 21) 遠藤美香 : Skin Hold Caliper 法における皮脂厚測定の信頼性について. *運動生理*, 3(4): 227-231, 1988.
- 22) Oppliger PA, et al.: Efficacy of skinfold training clinics: A comparison between clinic trained and experienced testers. *Research Quarterly for Exercise and Sports*, 63(4): 438-443, 1992.
- 23) 湯浅景元, 福永哲夫 : Bモード超音波法による皮下脂肪厚測定の正確性. *体力科学*, 36:31-35, 1987.
- 24) Ikai M, et al.: Comparison between ultrasonic and direct methods to measure the cross-sectional area of tissue. *Med Ultrason*, 8: 77-79, 1970.
- 25) Weiss LW, et al.: Three protocols for measuring subcutaneous fat thickness on the upper extremities. *European Journal of Applied Physiology*, 56(1): 217-221, 1987.
- 26) Weiss LW, et al.: Subcutaneous fat measurement of the leg using three protocols. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 27(4): 437-442, 1988.
- 27) Hayes PA, et al. : Sub-cutaneous fat thickness measured by magnetic resonance imaging, ultrasound, and calipers. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 27(4): 303-309, 1988
- 28) Hutcheson L, et al.: Body impedance analysis and body water loss. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 59(4): 359-362, 1988.
- 29) John RC, et al.: Body composition analysis by bioelectrical impedance:effect of skin temperature. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(5): 489-491, 1988.
- 30) Kaminsky LA, et al.: Differences in estimates of percent body fat using bioelectrical impedance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 33(2): 172-177, 1993.
- 31) 田原靖昭・他 : 身体活動レベルからみた重症心身障害者の体格, 体内カリウム量(40K), 身体組成及び皮下脂肪厚. *体力科学*, 41: 355-367, 1992.
- 32) 沼尻幸吉・他 : 重症心身障害者のエネルギー代謝および栄養摂取について. *労働科学*, 57: 101-111, 1981.
- 33) 高橋徹三・他 : 重症心身障害児の体格と基礎代謝量—某施設における調査. *栄養学雑誌*, 42: 281-287, 1984

- 34) 上村喜一, 草野勝彦: 精神遅滞児における肥瘦傾向の実態. 保健の科学, 27: 504-508, 1985.
- 35) 横山泰行: 精神薄弱児の Somatotype. 人類学雑誌, 91: 153-168, 1983.
- 36) 横山泰行: 精神薄弱児の身体発育. 体育学研究, 29: 63-72, 1984
- 37) 横山泰行: 体脂肪量からみた精神発達遅滞児の肥満. 日本小児科会雑誌, 88: 2595-2602, 1984.
- 38) 横山泰行: 測定知能水準からみた精神遅滞児の体格. 心理学研究, 55: 370-373, 1985.
- 39) 湯川幸一・他: 重症心身障害児の基礎代謝量とエネルギー所要量の検討. 日本公衛誌, 35: 541-548, 1988.
- 40) Bulbulian R, et al.: Body composition in paraplegic male athletes. Medicine and Science in Sports and Exercise, 19(3): 195-201, 1987.
- 41) Goswami A, et al.: Anthropometric characteristics of disabled and normal Indian men. Ergonomics, 30(5): 817-823, 1987.
- 42) 近藤照彦・他: 脳血管障害片麻痺患者の皮下脂肪厚値におけるキャリパー法と超音波法の差異および皮下脂肪厚分布パターンについて. 運動生理, 8(4): 187-194, 1993.
- 43) 近藤照彦, 小林 功, 塚越和巳: Bモード超音波法からみた脊髄損傷による対麻痺患者の皮下脂肪厚分布パターン. J J Sports Sci, 12(9): 583-588, 1993.