

## 運動前のタウリン摂取が筋疲労に及ぼす影響

### *Effect of Taurine Ingestion before Exercise on Muscle Fatigue*

松井 康<sup>1,2)</sup> 今井 智子<sup>3)</sup> 永井 智<sup>2,4)</sup> 小林 直行<sup>5)</sup>  
渡邊 昌宏<sup>4)</sup> 近藤 宏<sup>1)</sup> 宮川 俊平<sup>2)</sup>

YASUSHI MATSUI, RPT, MS<sup>1,2)</sup>, TOMOKO IMAI, PhD<sup>3)</sup>, SATOSHI NAGAI, RPT, MS<sup>2,4)</sup>, NAOYUKI KOBAYASHI, PhD<sup>5)</sup>,  
MASAHIRO WATANABE, RPT, PhD<sup>4)</sup>, HIROSHI KONDO, PhD<sup>1)</sup>, SYUMPEI MIYAKAWA, MD, PhD<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Faculty of Health Sciences, Tsukuba University of Technology: 4-12-7 Kasuga, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8521, Japan  
TEL +81 29-852-2890 E-mail: matsui@k.tsukuba-tech.ac.jp

<sup>2)</sup> Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba

<sup>3)</sup> Sports Research & Development Division Core, University of Tsukuba

<sup>4)</sup> Department of Physical Therapy, Faculty of Health Science, Tsukuba International University

<sup>5)</sup> Sports & Health Management Program, Faculty of Business & Information Sciences, Jobu University

*Rigakuryoho Kagaku 31(3): 389-393, 2016. Submitted Nov. 16, 2015. Accepted Jan. 16, 2016.*

**ABSTRACT:** [Purpose] The purpose of this study was to investigate the effect of taurine ingestion before exercise on muscle fatigue. [Subjects] Ten male soccer players participated in this study. [Methods] This study had a double-blind crossover test design. The subjects drank taurine water or placebo water before exercise. Two types of exercise were performed: bicycle ergometer and isokinetic knee extension exercise. Muscle fatigue was evaluated using the mean power frequency (MPF) of the rectus femoris electromyogram, peak torque, and blood components. [Results] The taurine blood level of the subjects who imbibed taurine water was significantly higher than that of the subjects who drank placebo water. Furthermore, their myoglobin blood level was lower and their MPF showed a tendency to decline less than that of the placebo group. [Conclusion] These results suggest that the taurine blood level is increased by taurine intake, and that muscle fatigue due to exercise was inhibited by taurine ingestion.

**Key words:** muscle fatigue, taurine, amino acids

**要旨:**〔目的〕運動前のタウリン摂取が、運動によって生じる筋疲労に与える影響を明らかにすることとした。〔対象〕大学男子サッカー選手10名とした。〔方法〕無作為化二重盲検クロスオーバー試験にて、タウリン水、プラセボ水の2種類を摂取し、75%  $\dot{V}O_2\max$  でのエルゴメータによる運動と、最大努力での等速性膝伸展運動を100回行った。測定項目は、血液成分、膝伸展運動中のピークトルク、および大腿直筋の平均周波数(MPF)とした。〔結果〕タウリン水摂取群は血中MB濃度の上昇と、MPFの低下が抑制される傾向を示した。〔結語〕タウリン水摂取が運動によって生じる筋損傷を抑制する可能性があることが示唆される。

**キーワード:** 筋疲労, タウリン, アミノ酸

<sup>1)</sup> 筑波技術大学 保健科学部: 茨城県つくば市春日4-12-7(〒305-8521) TEL 029-852-2890

<sup>2)</sup> 筑波大学大学院 人間総合科学研究科

<sup>3)</sup> 筑波大学 スポーツ Research & Development コア

<sup>4)</sup> つくば国際大学 医療保健学部 理学療法学科

<sup>5)</sup> 上武大学 ビジネス情報学部 スポーツ健康マネジメント学科

## 1. はじめに

タウリンは近年、栄養補助ドリンクなどに多く用いられており、また医療やスポーツ現場でも用いられている。この物質は、化学名は2-アミノエチルスルホン酸、化学式は  $C_2H_7NO_3S$  と表記される含硫アミノ酸の一つで、白色・無臭の結晶である。タウリンは哺乳動物の中樞神経組織や心筋、骨格筋などに存在し、電氣的に興奮する組織内において高濃度に検出される<sup>1,2)</sup>。またこれには細胞膜の安定化作用<sup>3,4)</sup>、抑制性神経伝達物質として神経の調節作用<sup>5,6)</sup>、血圧降下作用<sup>7)</sup>など様々な生理学的効果があると報告されている。

運動時のタウリン摂取の効果として、抗酸化作用<sup>8,9)</sup>、心機能の増強<sup>10,11)</sup>などが報告されているが、近年、筋疲労の軽減に対しても有効であると報告されている<sup>12,13)</sup>。しかし、筋疲労に対する効果はラットに対するものがほとんどであり、ヒトについての影響は明らかにされていない。ヒトにおける筋疲労に及ぼす影響を明らかにすることにより、スポーツ現場におけるアスリートやスポーツ愛好家、また易疲労性となっている高齢者などの筋疲労を軽減するために幅広く用いることができると考えられる。

そこで、本研究ではヒトにおける運動前のタウリン摂取が運動によって生じる筋疲労を抑制するか否かを検討した。

## II. 対象と方法

### 1. 対象

対象は公募により集まった大学男子サッカー選手10名（年齢の平均±標準偏差：20.8±1.3歳，身長：172.8±4.5cm，体重：68.0±5.2kg）とし、喫煙、アルコール摂取およびサプリメント摂取の習慣をもたない者とした。本研究は、筑波大学大学院人間総合科学研究科研究倫理委員会の承認を受け、対象者に対しては、研究の趣旨を十分に説明し、文書による同意を得て行った。

### 2. 方法

実験プロトコルを図1に示す。本実験では運動前に飲料水を摂取してもらい、その効果を検討した。飲料水はタウリン水、プラセボ水の2種類とし、クロスオーバーおよびダブルブラインド試験にて行った。タウリン水は市販の水500mlに2gのタウリン粉末（タウリン散98%「大正」、大正製薬社製）を溶かし作成した。プラセボ水は市販の水500mlとした。ウォッシュアウト期間は1週間とした。実験前日の21時に被験者に飲料水を配布し、21時から22時の間に夕食を済ませてもらった。23時から翌日5時までの睡眠とした。飲料水摂取のタイミングは、タウリンの体内摂取による効果を見るため、実験前日の22時から23時、当日の5時から5時40分、6時20分から6時半の3回に、500mlを1回の摂取量とし、計1,500mlを飲用した。

運動は6時40分から実施した。運動プロトコルは $\dot{V}O_2max$ の75%の負荷での自転車エルゴメータによる運動と、最大努力での等速性膝伸展運動を100回とした。

自転車エルゴメータによる運動は、呼気ガス測定装置により75% $\dot{V}O_2max$ を維持できるようにした。運動前2分間の安静をとり、その後5分間で徐々に75% $\dot{V}O_2max$ まで負荷を上げていった。その負荷を維持したまま、30分間の運動を行った。

等速性膝伸展運動は、等速性筋力測定機（BIODEX System 3, Biodex Medical Systems社製）を用いた。角速度90°/secの等速性膝伸展運動を100回行った。運動範囲を0～90°とし、最大努力で膝伸展0°まで伸展させ、その後膝屈曲90°まで力を入れずに屈曲する運動を繰り返した。それぞれの相の時間は1秒とし、1回の膝伸展・屈曲運動の時間は2秒であった。

採血は自転車エルゴメータ運動前（以下、pre）、自転車エルゴメータ運動後（以下、post ergo）、BIODEXにおける膝伸展運動後（以下、post BDX）、運動終了から安静30分後（以下、post 30）、安静60分後（以下、post 60）のそれぞれ5つの時点で翼状採血針を用いて肘前静脈より行った。採血は医師が行い、採血量を19mlとした。採血した血液を、4℃、3,000回転で15分間遠心分離した後、血清を分離し、血中タウリン濃度、

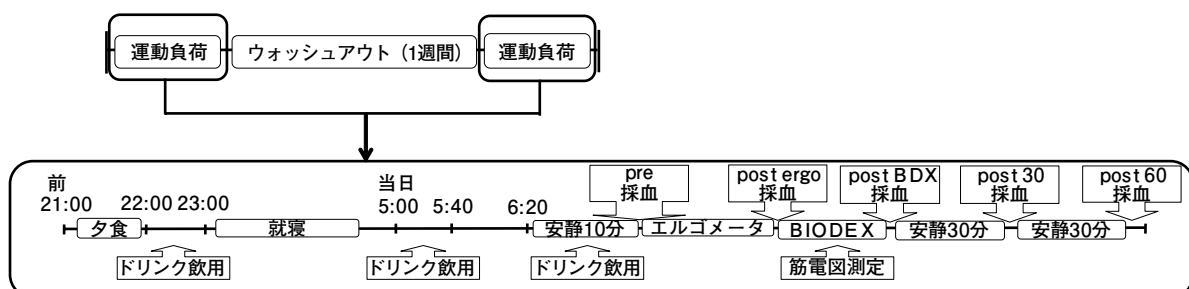


図1 実験プロトコル

血中ミオグロビン (MB) 濃度, 血中クレアチンキナーゼ (CK) 濃度を測定した. 血中タウリン濃度はアミノ酸分析機器 (JLC-500/V2 Amino Acid Analyzer, 日本電子社製), 血中 MB 濃度は ADVIA Centaur XP (シーメンスヘルスケア・ダイアグノスティクス社製), 血中 CK 濃度はクレアチンキナーゼキット L タイプワコー CK (和光純薬興業社製) を用いて測定した. 血中乳酸濃度は, 血液を採取した直後に乳酸測定器 (Lactate Pro IT-1710, ARKRAY 社製) を用いて測定した.

等速性膝伸展運動中に膝伸展ピークトルクおよび筋活動を測定した. 筋活動は直径 10 mm の表面電極により, 筋電計 (Biometrics 社製) を用いて双極導出法により筋活動電位を導出した. サンプル周波数は 1,000 Hz とした. 被験筋として, 膝関節伸展の主動筋の一つである大腿直筋 (Rectus Femoris: 以下, RF) を用いた. 電極貼付部位は, 大腿前面で上前腸骨棘から 2 cm 下方を下前腸骨棘と仮定し, 下前腸骨棘と脛骨粗面の midpoint とした.

筋電図分析において, 解析ソフトウェア TRIAS System (Biometrics 社製) を使用して, 膝伸展の相である 1 秒間の活動電位に対して周波数分析を行い, 1 回の収縮毎の平均周波数 (以下, MPF) を算出した<sup>14)</sup>. このとき, 周波数の帯域幅は 10 ~ 500 Hz とし, 窓関数にはハミング窓を用いて, 高速フーリエ変換 (以下, FFT) を行った. 算出したピークトルクおよび MPF は, 1-20 回, 21-40 回, 41-60 回, 61-80 回, 81-100 回の 5 つの相を point 1, 2, 3, 4, 5 にそれぞれ分け, point ごとの平均値の比較を行った.

統計処理はタウリン水摂取群 (以下, T 群) とプラセボ水摂取群 (以下, P 群) の 2 群間における各測定値の平均の差の検定には, 経時変化および実験条件間の差を解析するため二元配置分散分析を行い, その後 Bonferroni の多重比較検定を行った. 統計処理には統計ソフトウェア PASW Statistics 17.0 (SPSS 社製) を用い, 危険率の有意水準は 5% とした.

### III. 結果

結果を表 1, 2 に示す. 血中タウリン濃度は, T 群では P 群と比較して, すべてのポイントで, また T 群では, post ergo において, pre と比較して有意に高かった. 血中乳酸濃度は, 両群ともに, pre と比較して post ergo, post BDX, post 30 で有意に高かった. 血中 MB 濃度は, 両群ともに, pre と比較して post 30, post 60 で有意に高かったが, post 30, post 60 において, T 群では P 群と比較して有意に低かった. 血中 CK 濃度は, T 群では, pre と比較して post ergo 以降すべてのポイントで, また P 群では, pre と比較して post ergo, post BDX で有意に高かった.

MPF 変化率は, 両群ともに, point 1 と比較してすべてのポイントで有意に低かった. また, T 群では P 群と比較して, 有意差は生じなかったが, 低下を抑制する傾向がみられた (point 4:  $p=0.057$ ). ピークトルクは, 両群ともに, point 1 と比較してすべてのポイントで有意に低かった.

表 1 血中濃度の結果

測定項目		pre	post ergo	post BDX	post 30	post 60
血中タウリン濃度 (nmol/ml)	T 群	467.8 ± 123.2**	780.3 ± 252.0** <sup>†</sup>	711.7 ± 245.0**	628.6 ± 162.5**	523.2 ± 151.3*
	P 群	34.8 ± 10.2	45.2 ± 11.3	38.9 ± 12.7	36.5 ± 8.4	34.6 ± 7.1
血中乳酸濃度 (mmol/l)	T 群	1.09 ± 0.17	4.76 ± 2.29 <sup>††</sup>	4.67 ± 1.94 <sup>††</sup>	2.11 ± 0.71 <sup>†</sup>	1.67 ± 0.40
	P 群	1.12 ± 0.22	5.11 ± 2.23 <sup>†</sup>	4.67 ± 1.89 <sup>††</sup>	2.06 ± 0.79 <sup>†</sup>	1.52 ± 0.46 <sup>†</sup>
血中 MB 濃度 (ng/l)	T 群	25.8 ± 5.0	31.6 ± 9.7	32.7 ± 9.2	39.0 ± 8.9* <sup>††</sup>	44.1 ± 11.5** <sup>††</sup>
	P 群	29.3 ± 6.9	33.8 ± 9.1	35.5 ± 9.6	45.8 ± 13.4 <sup>††</sup>	53.8 ± 14.6 <sup>††</sup>
血中 CK 濃度 (U/l)	T 群	205.5 ± 91.8	259.1 ± 110.9 <sup>††</sup>	258.7 ± 112.9 <sup>††</sup>	229.1 ± 99.2 <sup>††</sup>	221.6 ± 98.7 <sup>††</sup>
	P 群	247.5 ± 105.1	299.1 ± 120.0 <sup>††</sup>	303.2 ± 127.7 <sup>††</sup>	266.1 ± 113.2	258.0 ± 111.8

T 群: タウリン水摂取群, P 群: プラセボ水摂取群. \*:  $p<0.05$  (vs. P 群), \*\*:  $p<0.01$  (vs. P 群), <sup>†</sup>:  $p<0.05$  (vs. pre), <sup>††</sup>:  $p<0.01$  (vs. pre).

表 2 BIODEX における MPF 変化率と膝伸展ピークトルク

測定項目		point 1	point 2	point 3	point 4	point 5
MPF 変化率	T 群	1.00 ± 0.00	0.89 ± 0.062 <sup>††</sup>	0.87 ± 0.057 <sup>††</sup>	0.87 ± 0.060 <sup>††,*</sup>	0.86 ± 0.061 <sup>††</sup>
	P 群	1.00 ± 0.00	0.90 ± 0.033 <sup>††</sup>	0.86 ± 0.048 <sup>††</sup>	0.84 ± 0.052 <sup>††</sup>	0.83 ± 0.048 <sup>††</sup>
ピークトルク (N-m)	T 群	130.9 ± 13.6	108.0 ± 18.8 <sup>††</sup>	100.9 ± 19.3 <sup>††</sup>	98.4 ± 16.4 <sup>††</sup>	97.3 ± 18.4 <sup>††</sup>
	P 群	123.8 ± 17.8	104.2 ± 14.8 <sup>†</sup>	94.3 ± 12.6 <sup>††</sup>	93.1 ± 13.5 <sup>††</sup>	94.5 ± 14.8 <sup>††</sup>

T 群: タウリン水摂取群, P 群: プラセボ水摂取群. <sup>†</sup>:  $p<0.05$  (vs. pre), <sup>††</sup>:  $p<0.01$  (vs. pre). \*:  $p\leq 0.05$  (vs. P 群).

#### IV. 考 察

タウリンは小腸からまず血液中に取り込まれ、その後、骨格筋や各器官に運ばれると報告されている<sup>15)</sup>。本研究では、血中タウリンは、T群がP群と比較して、すべてのポイントで有意に高く、タウリン水の飲用により血中タウリン濃度が増加したことが示された。このことより、本研究で用いたタウリン投与のタイミングおよび投与量は、血中タウリン濃度を増加させるのに適切であったと考えられる。

筋疲労の評価としてFFTを用いた筋電図周波数解析が、筋の質的評価として広く用いられている。特に最大下筋収縮による筋疲労時には、筋電図積分値の増大と筋電図周波数パワースペクトルの低周波帯への移行（徐波化）が生じることが知られており、代表値であるMPFは筋疲労指標として様々な研究に用いられている<sup>16-19)</sup>。また筋疲労が生じた際、ピークトルクは低下していきとされており<sup>20,21)</sup>、最大等速性膝伸展運動におけるピークトルクの変化は40～60回までに急激な減少を見せる<sup>16,19)</sup>。また、ピークトルクとMPFの関係について、100回の最大等速性膝伸展運動を用いて、その信頼性を検討した結果、高い相関関係を示したと報告されている<sup>21)</sup>。本研究では、MPF変化率は、両群ともに、point 1と比較してすべてのポイントで有意に低く、さらにピークトルクの値も両群ともに、point 1と比較してすべてのポイントで有意に低かった。このことから、等速性膝伸展運動において、運動が進むにつれ筋疲労が生じたと考えられる。

骨格筋が損傷した場合には、筋肉中に含まれるMBやCKに代表される筋肉由来の酵素が血液中出现するため、その血中レベルの測定が重要視されている<sup>22-25)</sup>。また、MBはCKと比較して分子量が小さく、分子量が小さいものほど膜の透過性が高く、早期に血液中に流入するといわれている<sup>26)</sup>。本研究では、血中MB濃度が、T群ではP群と比較して、post 30、post 60において有意に低かったことから、T群では運動によって生じる筋損傷が抑制されたことが推測され、これはタウリン摂取が筋疲労に対して有効であったことを示唆する。

また、MPF変化率では、T群ではP群と比較して、point 4において、有意差はみられなかったが、低下が抑制されている傾向( $p=0.057$ )があり、これはタウリン水の摂取により筋疲労を抑えられる可能性を示唆する。タウリンは、連続電気刺激による筋収縮力が半分になるまでの時間を延長して、筋疲労を遅延する作用があるといわれている<sup>27,28)</sup>。このタウリンに関する電気生理学的知見は*in vitro*での報告であるが、ラットに対して0.5 g/kg/dayの量のタウリンを2週間投与した結果、タウリン投与群では非投与群と比較して、骨格筋タウリン濃度が有意に増加し、運動による骨格筋内のタウリン

濃度の減少を抑制でき、疲労困憊までの時間が長くなる」と報告されている<sup>12)</sup>。このことからタウリン摂取が運動能向上に役立つことが*in vivo*でも示されているといえる。本研究では、骨格筋タウリン濃度の測定を行っていないが、これらの先行研究から、本研究結果では血中タウリン濃度の増加によって骨格筋タウリン濃度を増加したものと推測され、したがって骨格筋タウリン濃度の増加により、既述した作用がはたらき筋疲労を抑制している可能性が示唆される。

#### 引用文献

- 1) Stern dN, Stim EM: Sources of excess taurine excreted in rats following whole body irradiation. *Proc Soc Exp Biol Med*, 1959, 101(1): 125-128.
- 2) Kuriyama K, Ida S, Nishimura C, et al.: Distribution and function of taurine in nervous tissues: An introductory review. *Prog Clin Biol Res*, 1983, 125: 127-140.
- 3) Gruener R, Bryant HJ: Excitability modulation by taurine: Action on axon membrane permeabilities. *J Pharmacol Exp Ther*, 1975, 194(3): 514-521.
- 4) Huxtable R, Bressler R: Effect of taurine on a muscle intracellular membrane. *Biochim Biophys Acta*, 1973, 323(4): 573-583.
- 5) Davison AN, Kaczmarek LK: Taurine-a possible neurotransmitter? *Nature*, 1974, 234(5324): 107-108.
- 6) Wheler GH, Bradford HF, Davison AN, et al.: Uptake and release of taurine from cerebral cortex slices and their subcellular compartments. *J Neurochem*, 1979, 33(1): 331-337.
- 7) Bousquet P, Feldman J, Bloch R, et al.: Central cardiovascular effects of taurine: Comparison with homotaurine and muscimol. *J Pharmacol Exp Ther*, 1981, 219(1): 213-218.
- 8) Miyazaki T, Matsuzaki Y, Ikegami T, et al.: Optimal and effective oral dose of taurine to prolong exercise performance in rat. *Amino Acids*, 2004, 27(3-4): 291-298.
- 9) Zhang M, Izumi I, Kagamimori S, et al.: Role of taurine supplementation to prevent exercise-induced oxidative stress in healthy young men. *Amino Acids*, 2004, 26(2): 203-207.
- 10) Geiß KR, Jester I, Falke W, et al.: The effect of a taurine-containing drink on performance in 10 endurance-athletes. *Amino Acids*, 1994, 7(1): 45-56.
- 11) Baum M, Weiss M: The influence of a taurine containing drink on cardiac parameters before and after exercise measured by echocardiography. *Amino Acids*, 2001, 20(1): 75-82.
- 12) Yatabe Y, Miyakawa S, Miyazaki T, et al.: Effects of taurine administration in rat skeletal muscles on exercise. *J Orthop Sci*, 2003, 8(3): 415-419.
- 13) Manabe S, Kurroda I, Okada K, et al.: Decreased blood levels of lactic acid and urinary excretion of 3-methylhistidine after exercise by chronic taurine treatment in rats. *J Nutr Sci Vitaminol*, 2003, 49(6): 375-380.
- 14) 牛山 幸, 千明 剛, 村山敏他: 膝関節角度を参照した筋電図解析によるスキー運動時筋疲労評価システム. *生体医学工学 日本エム・イー学会誌*, 2005, 43(4): 616-622.

- 15) Huxtable RJ: Physiological actions of taurine. *Physiol Rev*, 1992, 72(1): 101-163.
- 16) Komi PV, Tesch P: EMG frequency spectrum, muscle structure, and fatigue during dynamic contractions in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1979, 42(1): 41-50.
- 17) Fugl-Meyer AR, Gerdle B, Langstrom M: Characteristics of repeated isokinetic plantar flexions in middle-aged and elderly subjects with special regard to muscular work. *Acta Physiol Scand*, 1985, 124(2): 213-222.
- 18) Moritani T, Muro M, Nagata A: Intramuscular and surface electromyogram changes during muscle fatigue. *J Appl Physiol*, 1986, 60(4): 1179-1185.
- 19) Gerdle B, Fugl-Meyer AR: Is the mean power frequency shift of the EMG a selective indicator of fatigue of the fast twitch motor units? *Acta Physiol Scand*, 1992, 145(2): 129-138.
- 20) Gerdle B, Larsson B, Karlsson S: Criterion validation of surface EMG variables as fatigue indicators using peak torque: A study of repetitive maximum isokinetic knee extensions. *J Electromyogr Kinesiol*, 2000, 10(4): 225-232.
- 21) Isaksson B, Strommer L, Friess H, et al.: Impaired insulin action on phosphatidylinositol 3-kinase activity and glucose transport in skeletal muscle of pancreatic cancer patients. *Pancreas*, 2003, 26(2): 173-177.
- 22) Michaelson M, Reis ND: Crush injury-crush syndrome. *Unfallchirurg*, 1988, 91(7): 330-332.
- 23) Munjal DD, McFadden JA, Matix PA, et al.: Changes in serum myoglobin, total creatine kinase, lactate dehydrogenase and creatine kinase MB levels in runners. *Clin Biochem*, 1983, 16(3): 195-199.
- 24) Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM: Creatine kinase monitoring in sport medicine. *Br Med Bull*, 2007, 81-82: 209-230.
- 25) Brancaccio P, Maffulli N, Buonauro R, et al.: Serum enzyme monitoring in sports medicine. *Clin Sports Med*, 2008, 27(1): 1-18.
- 26) Sayers SP, Clarkson PM: Short-term immobilization after eccentric exercise. Part II: Creatine kinase and myoglobin. *Med Sci Sports Exerc*, 2003, 35(5): 762-768.
- 27) 福井義弘: 骨格筋の収縮に対する Taurine の作用. 含硫アミノ酸, 1987, 10(1): 123-126.
- 28) 谷 淳吉: 筋ジストロフィー症における含硫アミノ酸代謝の研究 —Ca<sup>2+</sup>除去による骨格筋収縮低下に対するタウリンの効果—. 筋ジストロフィー症の遺伝, 疫学, 臨床および治療開発に関する研究 昭和62年度研究報告書, 1987, 212-214.