

運動時に発生する筋痙攣の要因および予防法

大野政人¹⁾, 黒川貞生²⁾, 森田恭光³⁾

Potential factors and prevention for muscle cramp during exercise

Masato OHNO¹⁾, Sadao KUROKAWA²⁾, Yasumitsu MORITA³⁾,

¹⁾ Laboratory of Exercise and Sports Science, Yokohama City University ²⁾ Center for Liberal Arts, (Environment, Health & Sports Sciences) Meiji Gakuin University, ³⁾ Center for Liberal Arts, (Health & Sports Sciences) Meiji Gakuin University,

Abstract

Many people have experienced muscle cramps during sports activity. It has been suggested that muscle fatigue, dehydration, and electrolyte imbalance are potential factors of cramp. Stretching of affected muscles, intake of water and electrolytes are well-known preventions for cramp. However, few studies have experimentally investigated the effects of these factors and preventions on cramp. We reported that dehydration by repeated exposures to sauna increased cramp of the hamstrings which were not fatigued. Another study showed that increase in daily intake of water and salt reduced cramp during a tennis match. Thus, it is possible that fluid and sodium intake is effective for preventing cramp during exercise in some people.

1. はじめに

2007年の8-9月にかけて行われた世界陸上大阪大会において、万全を期して大会に臨んだ日本代表選手の多くが、競技前や競技中に筋痙攣を発生し、上位進出を逃した。大会後、「水分や電解質の摂取が不十分だったのではないか」「地元開催による精神的ストレスによって筋痙攣が起こってしまったのではないか」などの“憶測”が飛んだが、実際のところ、筋痙攣が発生した原因はよくわかっていない。はっきりと言えることは、現時点では、トップアスリートですら筋痙攣の発生を予防できていないということである。

筋痙攣は運動中や睡眠中に発生する苦痛であることから、筋痙攣の予防法を提唱し、十分な運動と睡眠を確保することが、健康の維持、増進のために重要だと考えられる。本稿では、私たちが日常経験する「つり」、すなわち、突発的、不随意的な有痛性筋収縮を筋痙攣と定義し、運動に伴って発生する筋痙攣を中心に、現在までのところ何がどこまで明らかになっているかについて、著者らがやってきた研究を含め概説したい。

2. 筋痙攣の現状

運動を長時間行うことにより、運動中や運動を行った日の睡眠中に筋痙攣が発生することがある。我々が行ったアンケート調査によると、大学生547名のうち92%の者が過去に筋痙攣を経験しており、これは石河と吉田¹⁷⁾(94%)およびNorrisら³²⁾(95%)の調査結果と同程度である。よって、ほとんどの大学生が過去に筋痙攣を経験しているが、逆に、これまで一度も筋痙攣を経験したことがない者が5-8%いることは興味深い。筋痙攣の発生部位として下腿後面(62%)、足の裏(42%)、足の

1) 横浜市立大学 運動・スポーツ科学教室

2) 明治学院大学 教養教育センター
(環境および健康・スポーツ科学)

3) 明治学院大学 教養教育センター
(健康・スポーツ科学)

連絡先: 大野政人

〒236-0027 横浜市金沢区瀬戸 22-2

marchi9@yokohama-cu.ac.jp

受理日: 2007年11月30日

指（31%）が多く、他の調査¹⁷⁻¹⁸⁾においても、下腿三頭筋に最も多く筋痙攣が発生している。思い当たる原因として、筋疲労（46%）、ストレッチング不足（42%）、久しぶりの運動（運動不足）（39%）など運動に関する要因が多いが、筋痙攣が発生した際の動作として、繰り返し走る（13%）や繰り返しジャンプする（10%）などのスポーツ動作よりも、睡眠中や寝起きの伸び（47%）、無理な姿勢や不自然な力の加え方（33%）、足の指に力を入れる（31%）などの日常動作が多いことから、大学生においては、運動中よりも運動後の日常動作や睡眠時に筋痙攣を経験している者が多いと推察される。一方、スポーツ選手に関しては、マラソン選手の33%²⁷⁾ およびトライアスロン選手の62%²⁰⁾ がレース中に筋痙攣を経験しており、筋痙攣が発生した経験がある筋として下腿三頭筋（80%）、ハムストリングス（66%）、大腿四頭筋（48%）が多く、また、筋痙攣の要因として筋疲労（60%）を挙げた者が最も多い²⁷⁾。これらのことから、日常の運動習慣によって筋痙攣の発生状況は異なると考えられるが、運動に伴う筋疲労により下腿三頭筋に筋痙攣を経験している者が多いようである。

3. 筋痙攣の発生源

筋痙攣の発生機序を解明するための実験的研究においては、筋痙攣が発生している時の筋活動の特徴を検討したもの、および、筋に電気刺激などを加えることにより筋の電気生理学的な応答を検討したものが多く、膝関節最大屈曲位において最大努力による膝屈曲動作を15秒間行うこと（筋痙攣テスト）により、膝屈曲筋群に筋痙攣を誘発し、表面筋電図を用いてその時の筋活動を観察すると、脱力しているにも関わらず、安静時と比較して大きな筋活動がみられる³³⁾（図1）。下腿三頭筋における筋痙攣発生時の筋放電頻度は、随意筋力発揮時と比較して大きい^{25,37)}。また、トライアスロンのレース中に筋痙攣が発生した筋（下腿三頭筋、大腿四頭筋、または、ハムストリングス）と、上腕三頭筋（コントロール）について、レース後の安静時の筋活動を比較すると、筋痙攣が発生した筋の方がベースラインの筋活動が大きい⁴³⁾。よっ

て、筋放電頻度やベースラインの筋活動の増加が筋痙攣の発生に関係している可能性が考えられる。

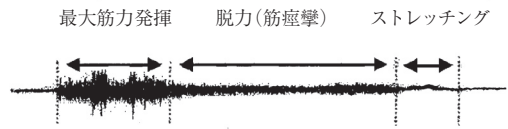


図1. 筋痙攣発生前後における膝屈曲筋群の筋活動

一方、筋痙攣の発生源については、中枢説（脊髄の α 運動ニューロン）と末梢説（神経-筋接合部、筋内）が考えられており、意見が二分している。中枢説が支持される理由として、大腿直筋における筋痙攣発生時に異なる運動単位の活動が同期化したこと、その際に拮抗筋や対側肢の大腿直筋を随意収縮させることにより筋痙攣が発生している筋の筋電波形が変化したこと³²⁾、下腿三頭筋に筋痙攣が発生した後、H反射が亢進したこと³⁶⁾、および、ストレッチングや脛骨神経に対する電気刺激によって下腿三頭筋の筋痙攣が治まり、それが髄器官の抑制性Ib神経活動に伴う α 運動ニューロンの興奮性の低下によるものと考えられること²⁵⁾が挙げられている。末梢説が支持される理由として、筋痙攣は筋の一部に発生し、その後、隣接した領域に広がることから、神経支配比が大きい筋では運動単位ごとに筋痙攣が生じる可能性は低いと考えられること³⁵⁾、リドカインによって後脛骨神経の一部をブロックし、その部位よりも末梢側の神経を電気刺激することにより足底の筋群に筋痙攣を誘発できること、筋が伸張位にある時は随意筋力発揮および電気刺激によって筋痙攣を誘発できないこと、および、神経ブロック後もストレッチングによって筋痙攣が治まること⁶⁾が考えられている。よって、筋痙攣の発生が中枢と末梢のどちらに起因するかについては結論に至っていないが、中枢説と末梢説のいずれかだけでは説明できない点があるため、むしろ両者が関係していると考えの方が妥当なのかもしれない。

4. 筋痙攣の要因

筋痙攣の要因として、筋疲労、脱水、血中の電解質、タウリン、クレアチン、ビタミンの減少、および、環境温が考えられている。

筋疲労によって筋紡錘の Ia 求心性神経の活動が増加し³¹⁾、腱器官の Ib 求心性神経の活動が低下すること¹⁶⁾により、 α 運動ニューロンの興奮性が増加し、筋痙攣が発生すると考えられている³⁸⁾。等尺性足底屈運動によって筋痙攣が発生した下腿三頭筋では、H 反射が亢進し³⁶⁾、アキレス腱への電気刺激に対する筋活動の抑制が低下する²²⁾ことから、 α 運動ニューロンの興奮性の増加が筋痙攣の発生に関係している可能性が示唆される。また、運動によって水素イオンが蓄積し、それが筋紡錘へのカルシウムの再取込みを抑制することにより、筋のリラクゼーションが低下することが考えられている⁴⁾。更に、運動によって生じるアセチルコリン、カリウムイオン、他の代謝産物などが、神経-筋接合部の無髄神経終末を刺激することにより、神経の興奮性が高まることが示唆されている²⁵⁾。筋痙攣が発生しやすい者では速筋線維の割合が多いこと⁴⁴⁾から、筋痙攣が発生しにくい者と比較して代謝産物の産生量が多く、それにより筋が緊張しやすいのかもしれない。一方、筋疲労によって筋痙攣が発生することを実験的に検証した研究は見当たらない。我々は運動時のみ筋痙攣が発生することがある者を用いて、等尺性膝屈曲運動を100回行うことにより膝屈曲筋群に筋疲労を生じさせ、運動前後に前述した筋痙攣テストを行った結果、運動後に筋痙攣は発生しなかった³³⁾。また、日常、筋痙攣が発生しやすく、運動前の筋痙攣テストによって筋痙攣が誘発された3名のうち2名に関しては、運動後に筋痙攣が誘発されなくなった。後脛骨神経に対する電気刺激により短母趾屈筋に筋痙攣を誘発した研究⁴²⁾においても、筋疲労によって、筋痙攣を誘発するために必要な刺激周波数が増加したことから、必ずしも筋疲労が筋痙攣の主要因ではないと考えられる。

脱水に関しては、マラソン³⁰⁾、ウルトラマラソン⁴⁰⁾、および、トライアスロン^{20,43)}の競技中に筋痙攣が発生した者と発生しなかった者において、レース後の体重の減少率、血漿量など

に違いがみられないため、脱水は筋痙攣の要因ではないことが示唆されている。一方、筋痙攣が発生しやすいテニス選手に対し、日常の水分とナトリウムの摂取量を増加させた結果、筋痙攣が発生しなくなったこと⁵⁾、下腿三頭筋を用いた運動を高温環境下において行うことにより筋痙攣が発生した者に対し、電解質を含む飲料を摂取しながら同じ運動を行った場合は筋痙攣の発生が遅延したこと¹⁹⁾、および、筋痙攣の発生に悩む多汗症の者の腋下部に Botulinum Toxin を注射し、発汗量を減少させた結果、筋痙攣の発生が減少したこと¹²⁾から、発汗に伴う脱水が筋痙攣の要因である可能性は否定できない。また、我々は、6分間の間欠的なサウナ入浴を、体重が3%減少するまで繰り返し、脱水前後に筋痙攣テストを行った結果、9名中5名に筋痙攣が発生した。よって、脱水は筋痙攣の要因だと考えられるが、高温環境下(35℃)において20分間の間欠的なサイクリング運動により同量の脱水を生じさせた場合には、脱水後に筋痙攣が発生しなかったことから、脱水方法により筋痙攣の発生が変化する可能性が示唆される。脱水時に筋痙攣が発生する機序として、脱水によって神経-筋接合部における間質液が減少し、筋力発揮時に神経に加わる圧力が増加することにより、運動神経終末が興奮し、筋痙攣が発生することが考えられている²⁶⁾。よって、実験的に間質液の量をコントロールすることができれば、脱水と筋痙攣の関係について明らかにすることができると思われる。

血中の電解質、タウリン、クレアチン、および、ビタミンの低下は筋痙攣の発生に関係していると考えられている。これまで、筋痙攣の予防に効果があるものとして、妊婦に対するカルシウムまたはビタミンCの投与¹⁴⁾、ビタミンB₁とB₆の併用¹⁾、肝硬変の患者に対する亜鉛²³⁾やタウリン^{29,45-46)}の投与、血液透析を受けている患者に対するビタミンCとビタミンEの単独使用および併用²¹⁾、クレアチンの投与¹⁰⁾、高血圧の高齢者に対するビタミンB複合体の投与⁹⁾などが報告されている。一方、マグネシウムは夜間に発生する筋痙攣の予防に効果がないこと¹³⁾や、肝硬変の患者のうち週に1回以上筋痙攣が発生する者と発生しない者において、血中

の亜鉛および電解質（ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウム）濃度に差がないという報告²⁾があることから、これらの血中物質が筋痙攣発現の要因かどうかについては明らかになっていない。一方、運動時の筋痙攣の要因としてナトリウムの減少が知られており、フットボールの練習中に筋痙攣が発生した者では、発生しなかった者と比較して、発汗中のナトリウム濃度が高く、発汗に伴うナトリウムの損失量が多いこと⁴¹⁾、および、ナトリウムやナトリウムを含んだ飲料を摂取しながら運動を行うことにより、筋痙攣の発生が遅延¹⁹⁾または予防⁵⁾できたことが報告されている。しかし、長距離レース中に筋痙攣が発生した者と発生しなかった者において、運動後の血中ナトリウム^{30,40)}、カリウム^{30,40)}、カルシウム^{30,40)}、マグネシウム^{40,43)}、および、クレアチン³⁰⁾の濃度に違いがみられなかったという報告もある。よって、これらの血中物質が運動時に発生する筋痙攣に及ぼす影響に関しては明らかになっていない。この点に関しては、血中物質を実験的にコントロールした際の筋痙攣発現について、随意筋力発揮や電気刺激を用いた実験的検証を行う必要があると考えられる。

環境温については、高温および低温環境下の運動中に筋痙攣がしばしば発生することが考えられているが、それについて実験的な検証を行った研究は見当たらない。また、マラソンのレース中に筋痙攣が発生した者と発生しなかった者において、レース後の直腸温に違いがみられないこと³⁰⁾、高温環境下の安静時には筋痙攣が発生せず、筋痙攣が発生している筋を冷却することによって筋痙攣が治まらないこと³⁹⁾、および、常温においても筋痙攣が発生すること³⁸⁾から、環境温が筋痙攣の直接的な要因とは考えにくい。また、寒冷曝露が水泳選手やマラソン摂取の筋痙攣発現に関係している可能性が示唆されているが³⁹⁾、科学的な検証は行われていない。

5. 筋痙攣の予防法

1989年に開催されたテニスのフレンチオープンにおいて、大腿部に筋痙攣が発生した男子テニス選手が、ポイントの間ごとに水を飲み、

脚のストレッチングやマッサージを行い、ブレーク時にバナナを食べることにより、筋痙攣が次第に治まり、大逆転勝利を収めた³⁾。しかし、これらの“対処法”を運動前に行うことにより、必ずしも運動中の筋痙攣の発生が予防できているとはいえない。

筋痙攣の予防法としてストレッチングが知られているが、これは対処法としてのストレッチングの有効性が拡大解釈されたものと思われる。実際、下腿三頭筋のストレッチングによって睡眠時の筋痙攣発現が減少した¹¹⁾、および、変化がなかった⁸⁾という報告があり、一定の見解が得られていない。また、運動前のストレッチングが運動中の筋痙攣発現に及ぼす影響について検討した研究は見当たらないが、現状を見る限り、明らかな筋痙攣予防効果は認められていない。一方、薬剤を用いた検討より、Quinineが夜間に発生する筋痙攣の予防に効果的であること⁷⁾、および、漢方薬の一種である芍薬甘草湯が血液透析¹⁵⁾、肝硬変²⁴⁾、および、下肢静脈瘤³⁴⁾に伴う筋痙攣発現の予防に効果的であることが認められている。しかし、これらの薬剤によって運動時の筋痙攣が予防できるかどうかについては検証が行われていない²⁸⁾。

前述したように、筋痙攣に関してはいくつかの要因が示唆されていることから、個々の症例について何が筋痙攣の要因であるかを検討し、それに応じた筋痙攣の予防法を実践する必要があると考えられる²⁾。また、一般的に筋痙攣は長時間の運動に伴って発生することが多いが、世界陸上大阪大会に関しては、棒高跳び、走り高跳び、200m走など、比較的短時間の競技において筋痙攣が発生したことから、筋疲労、脱水、電解質異常など、長時間の運動に伴って変化する要因だけでなく、精神的ストレスが筋痙攣発現に及ぼす影響の検討なども必要であろう。

6. まとめ

筋痙攣は運動中や、運動を行った日の睡眠中に発生することが多く、大学生の9割以上が過去に筋痙攣を経験している。運動中に発生する筋痙攣の要因として、筋疲労、脱水、電解質異常などが考えられているが、実験的に筋疲労

を生じさせた筋において筋痙攣が発生しやすくなったこと報告した研究は見当たらない。脱水および電解質異常が筋痙攣の発生に及ぼす影響については一定の見解が得られていない。筋痙攣の予防法として、ストレッチング、水および電解質の摂取が知られているが、これに関しても科学的な裏付けが十分ではなく、実際、それらの対策によって運動時の筋痙攣の発生が必ずしも予防できているわけではない。現在までのところ、筋痙攣に関する実験的な検証を行った研究が少ないため、筋痙攣の発生機序および予防法は明らかになっていない。一方、サウナ入浴に伴う脱水後に最大筋力発揮を行うことにより筋痙攣が発生した者がいること、および、日常生活における水とナトリウムの摂取量を増加することによって運動中に筋痙攣が発生しなくなった者がいることから、水およびナトリウムの摂取を心掛けることにより筋痙攣の発生を予防できる可能性が考えられる。

参考文献

- 1) Avşer AF, Özmen S, Söylemez F: Vitamin B₁ and B₆ substitution in pregnancy for leg cramps. *Am J Obstet Gynecol*, 175, 233-234, 1995.
- 2) Baskol M, Ozbakir O, Coskun R, Baskol G, Saraymen R, Yucesoy M: The role of serum zinc and other factors on the prevalence of muscle cramps in non-alcoholic cirrhotic patients. *J Clin Gastroenterol*, 38, 524-529, 2004.
- 3) Benda C: Outwitting muscle cramps - is it possible? *Physician Sportsmed*, 17, 173-178, 1989.
- 4) Bentley S: Exercise-induced muscle cramp ~Proposed mechanisms and management~ *Sports Med*, 21, 409-420, 1996.
- 5) Bergeron MF: Heat cramps during tennis: a case report. *Int J Sport Nutr*, 6, 62-68, 1996.
- 6) Bertolasi L, De Grandis D, Bongiovanni LG, Zanette GP, Gasperini M: The influence of muscular lengthening on cramps. *Ann Neurol*, 33, 176-180, 1993.
- 7) Butler JV, Mulkerrin EC, O' Keeffe ST: Nocturnal leg cramps in older people. *Postgrad Med*, 78, 596-598, 2002.
- 8) Coppin RJ, Wicke DM, Little PS: Managing nocturnal leg cramps— calf-stretching exercises and cessation of quinine treatment: a factorial randomised controlled trial. *Br J Gen Pract*, 55, 186-191, 2005.
- 9) Chan P, Huang A, Chen Y, Huang W, Liu Y: Randomized, double-blind, placebo-controlled study of the safety and efficacy of vitamin B complex in the treatment of nocturnal leg cramps in elderly patients with hypertension. *J Clin Pharmacol*, 38, 1151-1154, 1998.
- 10) Chang C, Wu C, Yang C, Huang J, Wu M: Creatine monohydrate treatment alleviates muscle cramps associated with haemodialysis. *Nephrol Dial Transplant*, 17, 1978-1981, 2002.
- 11) Daniell HW: Simple cure for nocturnal leg cramps. *N Engl J Med*, 301, 216, 1979.
- 12) Filosto M, Bertolasi L, Fincati E, Priori A, Tomelleri G: Axillary injection of botulinum A toxin in a patient with muscle cramp associated with severe axillary hyperhidrosis. *Acta Neurol Belg*, 101, 121-123, 2001.
- 13) Frusso R, Zárate M, Augustovski F, Rubinstein A: Magnesium for the treatment of nocturnal leg cramps: a crossover randomized trial. *J Fam Pract*, 48, 868-871, 1999.
- 14) Hammar M, Berg G, Solheim F, Larsson L: Calcium and magnesium status in pregnant women: a comparison between treatment with calcium and vitamin C in pregnant women with leg cramps. *Internat J Vit Nutr Res*, 57, 179-183, 1987.
- 15) Hinoshita F, Ogura Y, Suzuki Y, Hara S, Yamada A, Tanaka N, Yamashita A, Marumo F: Effect of orally administered shao-yao-gan-cao-tang (Shakuyaku-kanzo-to) on muscle cramps in maintenance hemodialysis patient: a preliminary study. *Am J Clin Med*, 31, 445-453, 2003.
- 16) Hutton RS, Nelson DL: Stretch sensitivity of Golgi tendon organs in fatigued gastrocnemius muscle. *Med Sci Sports Exerc*, 18, 69-74, 1986.
- 17) 石河利寛, 吉田敬義: 筋のけいれん. *保健の科学*, 13, 545-549, 1971.
- 18) Jansen PHP, Joosten EMG, Van Dijck JAAM, Verbeek ALM, Durian FW: The incidence of muscle cramp. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 54, 1124-1125, 1991.
- 19) Jung AP, Bishop PA, Ai-Nawwas A, Dale RB: Influence of hydration and electrolyte supplementation on incidence and time to onset of exercise-associated muscle cramps. *J Athl Train*, 40, 71-75, 2005.
- 20) Kantorowski PG, Hiller WDB, Garrett WE, Douglas PS, Smith R, O' Toole M: Cramping studies in 2600 endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 22, S104, 1990.
- 21) Khajehdehi P, Mojerlou M, Behzadi S, Rais-Jalali G: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial of supplementary vitamin E, C and their combination for treatment of haemodialysis cramps. *Nephrol Dial Transplant*, 16, 1448-1451, 2001.
- 22) Khan SI, Burne JA: Reflex inhibition of normal cramp following electrical stimulation of the muscle tendon. *J*

- Neurophysiol, 98, 1102-1107, 2007.
- 23) Kugelmas M: Preliminary observation: oral zinc sulfate replacement is effective in treating muscle cramps in cirrhotic patients. *J Am Coll Nutr*, 19, 13-15, 2000.
 - 24) 熊田 卓, 桐山勢生, 曾根康博, 谷川 誠, 久永康宏, 中野 哲: 肝硬変の『こむら返り』に対する芍薬甘草湯の効果. *日東医誌*, 54, 536-538, 2003.
 - 25) Lanari A, Muchnik S, Rey N, Semeniuk G: Muscular cramp mechanism. *Medicina (Buenos Aires)*, 33, 235-240, 1973.
 - 26) Layzer RB: The origin of muscle fasciculations and cramps. *Muscle Nerve*, 17, 1243-1249, 1994.
 - 27) Manjra J, Schweltnus MP, Noakes TD: Risk factors for exercise associated muscle cramping (EAMC) in marathon runners. *Med Sci Sports Exerc*, 28, S167, 1996.
 - 28) Maquirriain J, Merello M: The athlete with muscular cramps: clinical approach. *J Am Acad Orthop Surg*, 15, 425-431, 2007.
 - 29) Matsuzaki Y, Tanaka N, Osuga T: Is taurine effective for treatment of painful muscle cramps in liver cirrhosis? *Am J Gastroenterol*, 88, 1466-1467, 1993.
 - 30) Maughan RJ: Exercise-induced muscle cramp: a prospective biochemical study in marathon runners *J Sports Sci*, 4, 31-34, 1986.
 - 31) Nelson DL, Robert SH: Dynamic and static stretch responses in muscle spindle receptors in fatigued muscle. *Med Sci Sports Exerc*, 17, 445-450, 1985.
 - 32) Norris FH, Gasteiger EL, Chatfield PO: An electromyographic study of induced and spontaneous muscle cramps. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 9, 139-147, 1957.
 - 33) 大野政人, 野坂和則: 筋疲労および脱水が運動誘発性筋痙攣に及ぼす影響. *体力科学*, 53, 131-140, 2004.
 - 34) 大谷真二, 清水康廣, 杉山 悟, 宮出喜生: 下肢静脈瘤の痛性筋痙攣に対する芍薬甘草湯の効果. *漢方医学*, 29, 221-223, 2005.
 - 35) Roeleveld K, Van Engelen BGM, Stegeman DF: Possible mechanisms of muscle cramp from temporal and spatial surface EMG characteristics. *J Appl Physiol*, 88, 983-993, 2000.
 - 36) Ross BH: Muscle cramp and the Hoffmann reflex. *Proceeding: Twentieth World Congress in Sports Medicine*. Carlton, Australia, Congress Secretariat XXth World Congress of Sports Medicine, 67-70, 1976.
 - 37) Ross BH, Thomas CK: Human motor unit activity during induced muscle cramp. *Brain*, 118, 983-993, 1995.
 - 38) Schweltnus MP: Skeletal muscle cramps during exercise. *Phys Sportsmed*, 27, 109-115, 1999.
 - 39) Schweltnus MP, Derman EW, Noakes TD: Aetiology of skeletal muscle cramps during exercise: a novel hypothesis. *J Sports Sci*, 15, 277-285, 1997.
 - 40) Schweltnus MP, Nicol J, Laubscher R, Noakes TD: Serum electrolyte concentrations and hydration status are not associated with muscle cramping (EAMC) in distance runners. *Br J Sports Med*, 38, 488-492, 2004.
 - 41) Stofan JR, Zachwieja JJ, Horswill CA, Murray R, Anderson SA, Eichner ER. Sweat and sodium losses in NCAA football players: a precursor to heat cramps? *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 15, 641-652, 2005.
 - 42) Stone MB, Edwards JE, Ingersoll CD, Cordova ML: Electrically induced muscle cramp threshold frequency increases following local muscle fatigue. *Med Sci Sports Exerc*, 35, S28, 2003.
 - 43) Sulzer NU, Schweltnus MP, Noakes TD: Serum electrolytes in ironman triathletes with exercise-associated muscle cramping. *Med Sci Sports Exerc*, 37, 1081-1085, 2005.
 - 44) Telerman-Toppet N, Bacq M, Khoubessierian P, Coërs C: Type 2 fiber predominance in muscle cramp and exertional myalgia. *Muscle Nerve*, 8, 563-567, 1985.
 - 45) Yamamoto Y: Oral taurine therapy for painful muscle cramp in liver cirrhosis. *Am J Gastroenterol*, 89, 457, 1994.
 - 46) 山本晋一郎, 大元謙治, 井手口清治, 山本亮輔, 三井康裕, 島原将精, 井口泰孝, 大海庸世, 高取敬子: 肝硬変におけるこむら返りとタウリン投与の効果について. *日消誌*, 91, 1205-1209, 1994.