

## 人工膝関節全置換術後早期の神経筋電気刺激療法による

### 大腿四頭筋筋力改善の効果：無作為化比較試験

著者: Jennifer E. Stevens-Lapsley, Jaclyn E. Balter, Pamela Wolfe, Donald G. Eckhoff, Wendy M. Kohrt

Early Neuromuscular Electrical Stimulation to Improve Quadriceps Muscle Strength After Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial

雑誌名 : Physical Therapy 2012 Volume 92 Number 2 : 210～226

**PMID: 22095207**

翻訳担当者：医療法人社団苑田会苑田会人工関節センター 池田光佑

#### 【抄録】

##### 目的

人工膝関節全置換術（Total Knee Arthroplasty：以下TKA）は、変形性膝関節症（Knee osteoarthritis：以下KOA）による疼痛や機能障害に対して有効な治療手段である。しかし、TKA術後1ヶ月における大腿四頭筋筋力は、術前の50～60%にまで低下すると報告されており<sup>1)~3)</sup>、大腿四頭筋の筋力低下は歩行速度、バランス能力、階段昇降活動、起立動作、転倒リスクとの関連が示されている<sup>4)~10)</sup>。そのため、TKA術後のリハビリテーションにおいて、大腿四頭筋のトレーニングは必須と言える。TKA術後の大腿四頭筋は、随意的な筋活動不足となり、筋萎縮の原因となる。それに対する治療の一つに神経筋電気刺激療法（Neuro Muscular Electrical Stimulation：以下NMES）が用いられているが、効果を示す報告やそうでない報告もあり、NMESに対する統一した見解は得られていない。本研究の目的は、術後48時間後から開始した大腿四頭筋に対するNMESの効果を検討することである。NMESによって、随意的な筋活動不足による筋萎縮を減少させ、通常のリハビリテーションに比べ身体機能が改善する結果になると仮説を立てた。

##### 方法

本研究は、TKA術後の大腿四頭筋筋力に対するNMESの効果を検証した無作為化比較試験の調査である。

対象者の包含基準は、50～85歳の初回片側TKA術後患者で術前から調査可能であった者とした。除外基準は管理されていない高血圧・糖尿病、ボディマス指数（Body mass index：以下BMI）35kg/m<sup>2</sup>以上、神経疾患、対側膝関節に強い運動時痛が存在する者、他に下肢の整形外科疾患がある者とした。対象者は年齢と性別を層別化とし、無作為に通常の運動療法とNMESを受ける群（以下、NMES群）と、通常の運動療法のみを受ける群（以下、コントロール群）に分けられた。

---

## Early Neuromuscular Electrical Stimulation to Improve Quadriceps Muscle Strength After Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial

---

両群ともに通常の運動療法は術後1日目より開始し、1日2回の頻度で3日間継続した。退院後は2週間で計6回の訪問でのリハビリを実施、その後、外来でのリハビリを6週間で計10～12回実施した。その他に、ホームエクササイズとして関節可動域エクササイズ、筋力増強エクササイズ（大腿四頭筋、ハムストリングス、股外転筋、股伸展筋、足底屈筋）を退院後30日間行った。ホームエクササイズの実施状況は理学療法士の聴取により管理された。

NMESの機器にはPortable Empi 300PV stimulator (Empi Inc, a DJO Global company, St Paul, Minnesota) を使用した。治療時の姿勢は、椅子坐位で股85°屈曲位、膝60°屈曲位の姿勢を取り、下腿遠位をベルクロで固定した。対象者は電気刺激により筋収縮が誘発されている時はリラックスすること、痛みに応じて電流を強くすることを指示された。電極のサイズは7.6×12.7cmで、大腿前面遠位内側と大腿前面近位外側に2枚貼付した。NMESの設定は対称性二相波形、周波数50pps、15秒on・45秒off、パルス持続時間250μsecとした。術後48時間後から始め、1回のNMESで15回の筋収縮を促すことを1日2回、6週間行った。

評価項目は最大等尺性大腿四頭筋トルク、大腿四頭筋アクティベーションテスト、最大等尺性ハムストリング筋トルク、自動膝関節可動域（屈曲、伸展）、Timed “Up & Go” Test (以下、TUG)、Stair-Climbing Test (以下、SCT)、6分間歩行試験 (6 minute walk test : 以下、6MWT)、疼痛（11段階スケール）、SF-36（身体面、精神面）、Western Ontario and McMaster Universities Arthritis Index（以下、WOMAC）、膝関節機能に対するGlobal rating scale (以下、GRS)とした。最大等尺性大腿四頭筋トルク、大腿四頭筋アクティベーションテスト、最大等尺性ハムストリング筋トルクの測定にはA HUMAC NORM electromechanical dynamometer (CSMi, Stoughton, Massachusetts) が用いられた。測定されたデータはBiopac Data Acquisition System (Biodex Medical Systems Inc, Shirley, New York) によって集められ、分析にはAcqKnowledge software, version 3.8.2 (Biodex Medical Systems Inc)が用いられた。大腿四頭筋アクティベーションテストはCentral activation ratioにより定量化された。

各評価の測定時期は術前（1～2週前）、術後3.5、6.5、13、26、52週目とした。

統計解析は術前の基礎情報の群間比較にT検定また $\chi^2$ 検定を実施した。術前から3.5週目の全測定項目の群間比較には年齢、性別、術前最大等尺性大腿四頭筋トルクを共変量とした共分散分析を実施した。また3.5、6.5、13、26、52週目の全測定項目の群間比較には反復測定による分散分析を用いて群間比較を行った。全ての解析にはIntention-to-treat解析を用いた。

### 結果

#### ○対象者の特徴

片側TKAを予定していた526名のうち、基準を満たした対象者は66名（NMSE群35名、コントロール群31名）、最終的に追跡可能であったのは55名（NMSE群30名、コントロール群25名）であった。NMSE群は66.2±9.1（平均値±標準偏差）歳、女性20名（57.1%）、BMI27.1±4.9（平均値±標準偏差）kg/m<sup>2</sup>であった。コントロール群は64.8±7.7歳、女性16名

---

## Early Neuromuscular Electrical Stimulation to Improve Quadriceps Muscle Strength After Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial

---

(51.6%)、BMI $31.2\pm 4.2$  kg/m<sup>2</sup>であった。術前の基礎情報の比較では、コントロール群の方が有意に高値のBMIを示した。

### ○最大等尺性大腿四頭筋トルク

術前はNMES群 $1.33\pm 0.57$  (平均値±標準偏差) Nm/kg、コントロール群 $1.32\pm 0.49$  Nm/kg、3.5週はNMES群 $0.93\pm 0.41$  Nm/kg、コントロール群 $0.66\pm 0.24$  Nm/kg、6.5週はNMES群 $1.20\pm 0.43$  Nm/kg、コントロール群 $1.04\pm 0.35$  Nm/kg、13週はNMES群 $1.42\pm 0.52$  Nm/kg、コントロール群 $1.20\pm 0.42$  Nm/kg、26週はNMES群 $1.51\pm 0.48$  Nm/kg、コントロール群 $1.39\pm 0.44$  Nm/kg、52週はNMES群 $1.66\pm 0.52$  Nm/kg、コントロール群 $1.50\pm 0.43$  Nm/kg、と3.5、6.5、13、52週目でNMES群の方が有意に高値を示した。(P<0.05)

### ○その他の項目

3.5週目でNMES群はコントロール群に比べて、最大等尺性ハムストリングス筋トルク、TUG、SCT、6MWT、GRS、自動膝伸展可動域が有意に改善していた。(P<0.05) 52週目は、群間差は小さくなったが、NMES群はコントロール群に比べて、最大等尺性ハムストリング筋トルク、TUG、SCT、6MWT、GRS、SF-36 (精神面)、WOMACが有意に改善していた。(P<0.05)

### ○電流強度

NMESの電流強度は、3.5週目で $83.7\pm 3.1$  (平均値±標準偏差) mA、6.5週目で $82.1\pm 3.3$  mAであった。10名の対象者は治療セッションの最終週には装置の上限である100mAに達した。また3名の対象者は6週を通して100mAの電流強度であった。

## 考察

本研究により、NMESによる術後早期の筋力低下予防と、長期間に渡る筋力改善の効果が示された。特に、3.5週目においてNMES群は大幅な筋力低下の予防を可能にした(術前値と比較して、NMES群40%減少、コントロール群67%減少)。これは、神経原性の効果により説明が出来るかもしれない。電気刺激による筋収縮は、同程度の自動収縮よりもタイプII線維の活性化を可能にする。このタイプII線維は、タイプI線維よりも直径が大きく、より大きな筋収縮力を生み出す。また、NMESによる求心性神経の刺激は、運動皮質の興奮性を変化させるエビデンスも報告されている<sup>11)~14)</sup>。術後早期において、NMESにより筋力や身体機能面のパフォーマンステストでは著明な改善が見られたが、自己申告の測定であるSF-36やWOMACでは改善が示されなかった。これは、自己申告による測定が術後疼痛の影響を受

---

## Early Neuromuscular Electrical Stimulation to Improve Quadriceps Muscle Strength After Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial

---

け、患者が自らの身体機能を過少評価してしまった可能性が考えられる。本研究の限界として、両群の運動処方量を比較すると、コントロール群の方がNMESを行っていない分、処方量が少なかった。また、検者の盲検化が不十分であった点、術前のBMIに群間差があった点、10名の対象者は装置の上限である100mAの強度に達した点がある。

### 結論

NMESの早期開始する効果は、大腿四頭筋の筋力低下を少なくさせ、身体機能の改善を示した。また1年を通じた長期的な有効性も示された。TKAに対する早期からのNMESは効果があると言える。

### 解説

本研究は、片側TKA術後早期に対するNMESの効果を検証した、無作為化比較試験である。検証の結果、術後早期における大腿四頭筋の筋力低下の予防、長期における筋力改善への効果が示されたことを述べている。注目する点として、今回は術後48時間後からNMESによる介入を行い、短期的な結果が伴った点である。これは先行研究と比較しても早い介入開始である。術後早期の段階は、術後疼痛により随意的な筋収縮が困難な時期であり、積極的なトレーニングが実施できない患者も少なくない。そのような患者に対して、今回のように術後早期からNMESを用いることは、効果的であると言える。また、NMESの強度、時間に関しては、本研究を含めても一定の見解が得られていない。今後、強度、時間に関する調査が進むことが期待される。

### 参考文献

- 1) Mizner RL, Petterson SC, Stevens JE, et al. Early quadriceps strength loss after total knee arthroplasty: the contributions of muscle atrophy and failure of voluntary muscle activation. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87:1047–1053.
- 2) Stevens JE, Mizner RL, Snyder-Mackler L. Quadriceps strength and volitional activation before and after total knee arthroplasty for osteoarthritis. *J Orthop Res.* 2003;21:775–779.
- 3) Bade MJ, Kohrt WM, Stevens-Lapsley JE. Outcomes before and after total knee arthroplasty compared to healthy adults. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2010;40:559–567.
- 4) Rantanen T, Guralnik JM, Izmirlian G, et al. Association of muscle strength with maximum walking speed in disabled older women. *Am J Phys Med Rehabil.* 1998;77: 299–305.
- 5) Skelton DA, Greig CA, Davies JM, Young A. Strength, power and related functional ability of healthy people aged 65–89 years. *Age Ageing.* 1994;23:371–377.
- 6) Moreland JD, Richardson JA, Goldsmith CH, Clase CM. Muscle weakness and falls in older adults: a systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc.* 2004;52:1121–1129.
- 7) Brown M, Sinacore DR, Host HH. The relationship of strength to function in the older adult. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1995;50 Spec No:55–59.
- 8) Connelly DM, Vandervoort AA. Effects of detraining on knee extensor strength and functional mobility in a group of elderly women. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1997; 26:340–346.

---

Early Neuromuscular Electrical Stimulation to Improve Quadriceps Muscle Strength After  
Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial

---

- 9) Moxley Scarborough D, Krebs DE, Harris BA. Quadriceps muscle strength and dynamic stability in elderly persons. *Gait Posture*. 1999;10:10–20.
- 10) Mizner RL, Petterson SC, Snyder-Mackler L. Quadriceps strength and the time course of functional recovery after total knee arthroplasty. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2005;35:424–436.
- 11) Golaszewski S, Kremser C, Wagner M, et al. Functional magnetic resonance imaging of the human motor cortex before and after whole-hand afferent electrical stimulation. *Scand J Rehabil Med*. 1999;31:165–173.
- 12) Tinazzi M, Zarattini S, Valeriani M, et al. Long-lasting modulation of human motor cortex following prolonged transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) of forearm muscles: evidence of reciprocal inhibition and facilitation. *Exp Brain Res*. 2005;161:457–464.
- 13) Kimberley TJ, Lewis SM, Auerbach EJ, et al. Electrical stimulation driving functional improvements and cortical changes in subjects with stroke. *Exp Brain Res*. 2004;154:450–460.
- 14) Svensson P, Miles TS, McKay D, Ridding MC. Suppression of motor evoked potentials in a hand muscle following prolonged painful stimulation. *Eur J Pain*. 2003;7: 55–62.