

転倒模倣課題における手掌接地時の手根伸筋および回外筋活動特性

大山 峰生¹ 小田桐正博¹ 松澤 翔太¹
中村 雄一² 豊栄 峻¹ 吉津 孝衛²
¹新潟医療福祉大学大学院 ²新潟手の外科研究所

Muscle Activities of the Wrist Extensors and Supinator at Grounding with Hand in Simulated Forward Falls

Mineo Oyama¹ Masahiro Odagiri¹ Shota Matsuzawa¹
Yuichi Nakamura² Takashi Houei¹ Takae Yoshizu²
¹ Graduate School of Niigata University of Health and Welfare
² Niigata Hand Surgery Foundation

本研究では、転倒模倣動作の手掌接地時の回外筋 (Sup), 上腕二頭筋 (BB), 手根伸筋 (ECRL, ECU) の活動特性を検討した。Sup, ECRL, ECU は双極ワイヤー電極で、BB は表面電極で筋電図を導出し、手掌接地前後 500ms を解析した。

Sup 活動は前腕中間位では手掌接地前 100ms から増大し、最大活動の 43.9% に達した。その活動は BB に比べ有意に高かった ($P < 0.05$)。回内位では両筋とも低活動だった。ECU は前腕回内位で手掌接地前 100ms から増大し、最大活動の 39.0% に達した。その活動は ECRL に比べ有意に高かった ($P < 0.05$)。ECRL は接地前に僅かに活動したが、接地後に消失した。中間位では両筋とも低活動だった。

Sup は中間位で、ECU は回内位で活動が高まり、それぞれ BB, ECRL とは異なる特性を示したことから、Sup は中間位、ECU は回内位での肘関節支持筋と考えた。

【目 的】

筋の主たる作用は関節運動を発生させることであるが、関節の静的支持機能を有する靱帯と隣接し、走行を同じくする筋は筋収縮によって関節の動的支持機能の役割を果たす可能性がある。肘関節内反負荷に対する制動機能に関しては、橈側側副靱帯、輪状靱帯、副靱帯、外側尺骨側副靱帯からなる外側側副靱帯複合体が主な役割を果たしているが¹⁾、その関与率は全体の 9 ~ 19% であり、残りは骨性支持や関節包の他、肘関節周囲筋が担っているとされている²⁾。肘関節外側には手根伸筋、回外筋 (Sup) が走行しており、これらは肘関節の外側支持機能を持つことが推測される。しかし、肘関節周囲筋のいずれが肘関節外側部の支持機構に対しどの程度関与しているかは明白ではない。

これまでの転倒課題を用いた研究では、関節に加わる衝撃を緩和させるための筋機能に着目したものが主であり³⁾、肘関節における筋の支持機能を詳細に解明しようとした研究は見当たらない。

そこで本研究では、転倒模倣動作において手掌を接地した際の Sup, 橈側手根伸筋 (ECRL), 尺側手根伸筋 (ECU) の活動特性を筋電図を用いて検討した。また、Sup と同様の前腕回外機能を有する上腕二頭筋 (BB) の筋電図を同時に描出し、Sup の筋電図所見と比較した。

【方 法】

(1) 対象

対象は、神経筋疾患および整形外科的疾患の既往のない健康成人 6 名とした。内訳は全被験者男性、平均年齢 36±9 歳で、全員右利きであった。なお、本研究は新潟医療福祉大学倫理委員会の承認を得たのち、被験者には予め実験の目的と方法を説明し、書面にて同意を得た。

(2) 課題運動

課題運動は、右側方へ体幹を傾斜させ倒れた時に手掌を接地し、上半身を支持する模擬的な転倒動作とした。手掌接地場所は、被検者の上前腸骨棘から下方および前方 60 cm に設置した反力計 (フォースプレート: CFP300CA501UTM, レプトリノ, 松本) とした。運動開始肢位は、両足部を肩幅と同程度に広げた立位とし、右上肢は体側で下垂させた。次いで、被験者は検査者の合図により前方に体幹を傾斜させて倒れていき、肘関節伸展位で手掌を反力計に接地して上半身を支持させた。手掌接地時の上肢運動は、接地の瞬間に生じる反射的な防御運動とし、意識的に肘関節伸展を行わないように指示した。前腕においては、回内、中間位の 2 肢位での接地とした (図 1)。実験開始前には 3 回以上の練習を実施した。また、課題動作時の筋活動量の相対的割合を示すために、被験筋 Sup, BB, ECRL, ECU それぞ

Key words : supinator (回外筋), extensor carpi ulnaris (尺側手根伸筋), dynamic stabilizer of elbow joint (肘関節動的的支持機構)

Address for reprints : Mineo Oyama, Graduate School of Niigata University of Health and Welfare, 1398 Shimami-cho, Kita-ku, Niigata 950-3198 Japan

ぞれの等尺性最大随意収縮運動 (MVC) を行わせた。MVC は 3 秒間の持続的収縮とし、肘関節 90 度屈曲位、前腕中間位で測定した。両課題運動共に測定回数は 3 回とした。

(3) 筋電図の導出

ECRL, ECU, Sup の筋電図の導出には、硬質ウレタンで被覆された直径 0.05 mm のタングステン線 (TN204-123TM, ユニークメディカル, 東京) で作成した双極性貼合ワイヤー電極 (非絶縁部: 2 mm, 電極間距離: 4 mm) を使用した。電極先端部分は筋の収縮に伴い電極が追従するよう鉤状に約 10 mm 折り返した。BB の筋電図は、表面電極 (Ambu[®] Blue Sensor NF, Ambu, Denmark) で導出した。ECRL, ECU, Sup に対する電極の刺入は、長さ 60 mm のカテラン針 (25 G) をガイドに用い、超音波診断装置 (ViamoTM, 東芝メディカルシステムズ, 東京) の超音波画像で確認しながら刺入した (図 2)。ECRL と Sup は上腕骨外側上顆からそれぞれ遠位約 5 cm, 3 cm の橈側から、ECU は筋腹中央から刺入した。刺入後はそのガイド針のみ抜去して電極を留置した。電極留置後は、刺入したワイヤー電極を利用して電気刺激を行い、各筋が独立して収縮すること、自動運動にて各筋間でクロストークがないことを確認した。BB においては、上腕遠位 1/3 部の筋腹に貼付した。電極間距離は 1 cm とした。不関電極は、肘頭部に刺入した。

各電極から導出した筋電図信号は、前置増幅器 (DPA-10ATM, ダイヤマディカルシステム, 東京) で 10 倍に、さらに主増幅器 (DPA-2008TM, ダイヤマディカルシステム, 東京) を用いて 100 倍に増幅し、サンプリング周波数 2000 Hz で A/D 変換してパーソナルコンピュータに取り込んだ。記録された筋電図信号は、20 ~ 1000 Hz の band pass filter で処理した。また、手掌接地時点を明確にするため、反力計からの信号を筋電図信号と同期させて取り込んだ。これらのデータの取り込みには、データ収録・解析システム (power Lab 8/30[®], AD Instruments, Australia) を用いた。

(4) 筋電図解析

筋電図解析区間は手掌接地前後 500 ms, 全体で 1000 ms とし、この間を 100 ms 間隔で 10 区間に分け、各筋の筋電図を全波整流し、それぞれ区間ごとに筋電図積分値 (IEMG) を算出した。MVC 課題においては、各筋とも最大トルク到達点前 100 ms の IEMG を算出した。IEMG 算出後は、転倒模倣課題、MVC 課題共に施行回数 3 回の平均 IEMG 値を求め、MVC 課題の平均 IEMG 値を基準に転倒模倣課題の各区間の平均 IEMG 値を正規化した。この値を normalized IEMG (NIEMG) とした。次いで、被験者間の NIEMG の平均値および標準偏差を区間ごとに算出した。

(5) 統計処理

手掌接地前後の 10 区間ごとに、Sup と BB 間で、また ECRL と ECU 間で NIEMG の平均値を対応のある t 検定で比較した。有意水準は、ともに 5% 未

満とした。これらの統計処理には SPSS 解析ソフト (IBM SPSS statistics Ver.18[®], SPSS Japan Inc, an IBM company, 東京) を使用した。

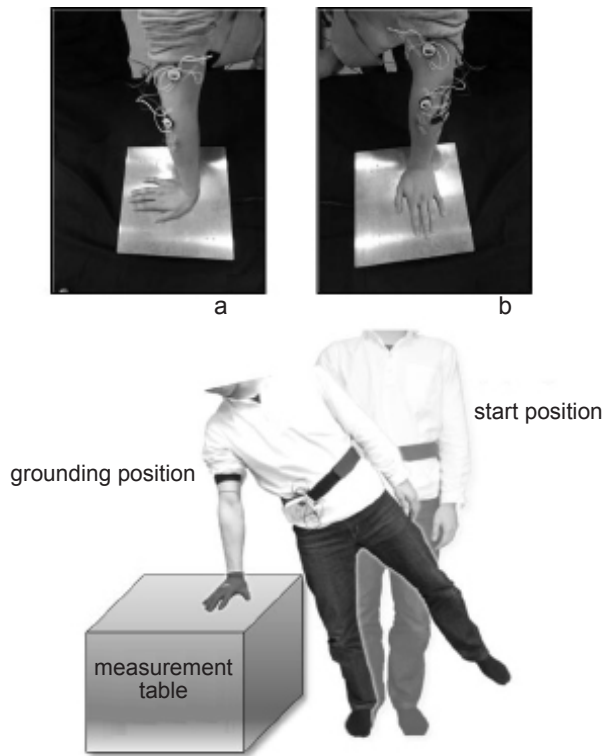


図 1 転倒模倣動作課題

a: 前腕中間位と b: 前腕回内位での手掌接地

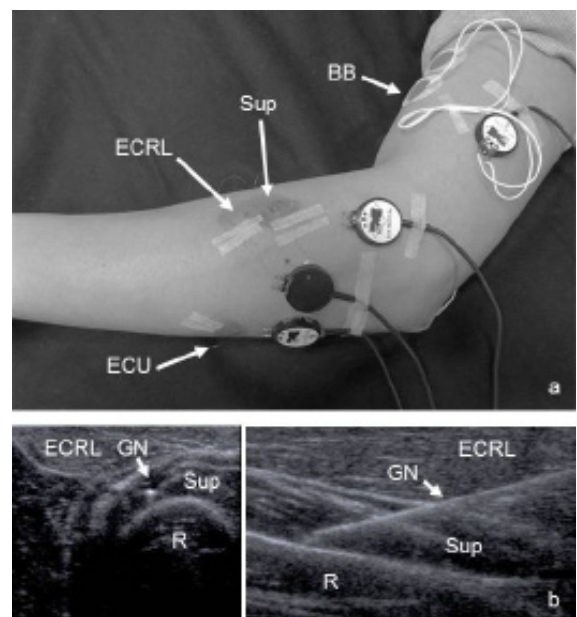


図 2 回外筋への双極性貼合ワイヤー電極の刺入

a: ワイヤー電極刺入部位と b: 超音波画像による電極刺入部位の確認。Sup: 回外筋, ECRL: 橈側手根伸筋, ECU: 尺側手根伸筋, R: 橈骨, GN: 電極刺入用ガイド針

【結 果】

図3には、前腕中間位で接地した際のSupとBBの代表被験者の生波形を示した。Supの活動は手掌接地前100msから急峻に増大し、その活動は手掌接地後も持続した。それに対しBBの活動は、常時低い活動であった。図4には、前腕中間位と回内位におけるSupとBBのNIEMGの平均値を示した。中間位においてはSupの活動は最大43.9%まで達し、BBに比べ有意に高い値を示した（手掌接地前300ms～手掌接地後300ms: $P < 0.05$ ）。一方、回内位においては両筋とも低い活動であった。

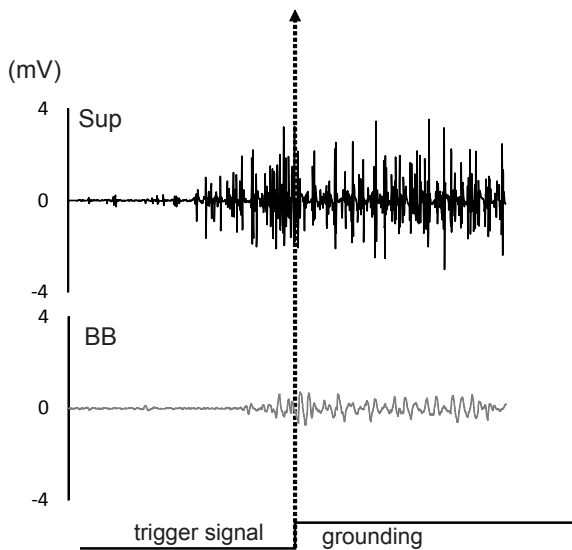


図3 前腕中間位で接地した際の生波形
(代表被験者)
Sup: 回外筋, BB: 上腕二頭筋

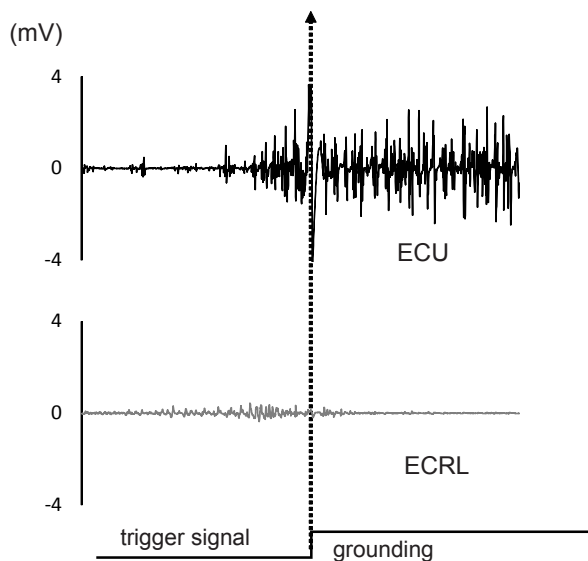


図5 前腕回内位で接地した際の生波形
(代表被験者)
ECU: 尺側手根伸筋, ECRL: 長橈側手根伸筋

図5には、前腕回内位で接地した際のECUとECRLの代表被験者の生波形を示した。ECUの活動は手掌接地前100msから増大し、その活動は手掌接地後も持続した。一方、ECRLは接地直前に僅かに活動したが、手掌接地後には消失した。図6には、前腕中間位と回内位のECUとECRLのNIEMGの平均値を示した。回内位においてはECUの活動は最大39.0%まで増大し、ECRLに比べ有意に高い値を示した（手掌接地後100～500ms: $P < 0.05$ ）。

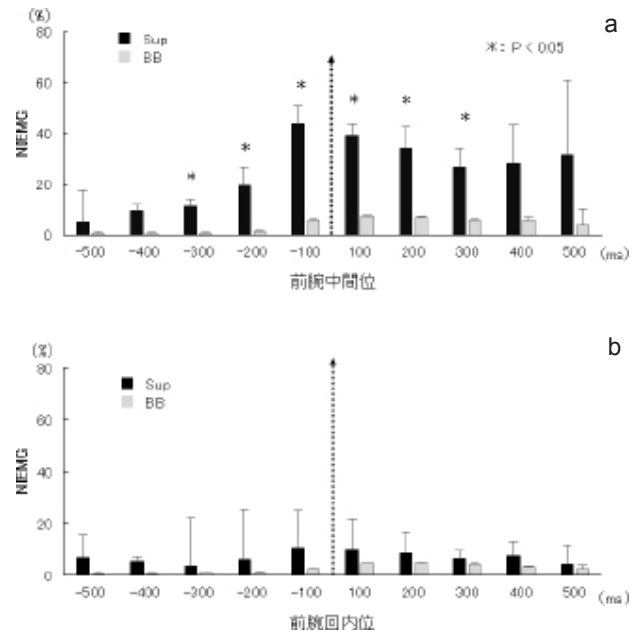


図4 手掌接地時の回外筋と上腕二頭筋の平均 NIEMG
a: 前腕中間位, b: 前腕回内位。
Sup: 回外筋, BB: 上腕二頭筋

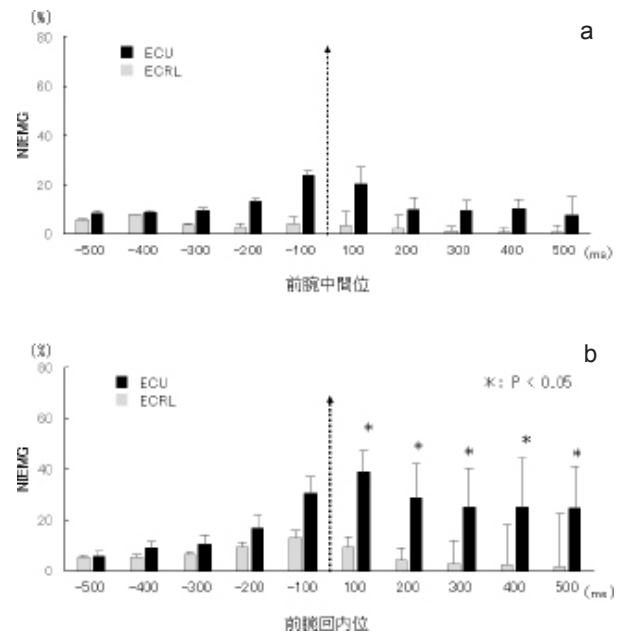


図6 手掌接地時の尺側手根伸筋と長橈側手根伸筋の平均 NIEMG
a: 前腕中間位, b: 前腕回内位。
ECU: 尺側手根伸筋, ECRL: 長橈側手根伸筋

【考 察】

本研究では、転倒模倣動作で手掌を接地した際に肘関節に対し瞬間的に負荷が加わった時の ECRL, ECU, Sup, BB の筋活動を導出した。その結果、Sup は前腕中間位で、ECU は回内位で手掌接地した時に接地直前から筋活動が増大し、接地後も高い活動が継続した。その活動は最大活動の 40% 程度までにも達した。またこれらは、それぞれ BB, ECRL とは同期せずに独立した活動であった。このことは、Sup は中間位で、ECU は回内位で興奮性が高まりやすい筋であることを示している。さらに、Sup は BB とは異なり、また ECU は ECRL とは異なった独立活動であったことを踏まえると、Sup の活動は回外運動のためのものではなく、ECU の活動は手関節伸展運動のためのものではないことを示唆していると考えた。それは、ある目的とする運動で共に働く共同筋同士は同期して活動するよう制御され、分離した収縮は生じないことから判断すると、Sup は回外運動のために活動したものであれば前腕回外機能を有する BB と同期して活動するであろうし、また ECU は手関節伸展運動のために活動したものであれば ECRL と同期して活動するからである。以上のことから、瞬間的な負荷が肘関節に加わった場合は Sup と ECU はそれぞれ異なる前腕肢位で機能する動的支持筋である可能性が高いと考えた。

Sup については、関らは外側支持機能を持つ外側側副靱帯複合体の Y 字構造の結合部に Sup の腱組織が連結していることを組織学的に観察した¹⁾。また、Dunning らは外側側副靱帯 (RCL, LUCL) の切離実験によって前腕肢位の違いによる貢献度を解析し、外側側副靱帯の肘関節外側の支持機能は前腕回内位に比べ回外位で有効であることを示した⁴⁾。これらのことから判断すると、Sup は筋収縮によって外側側副靱帯複合体の緊張を高めると同時に外側側副靱帯複合体と一体となって回外位における肘関節の安定性に貢献していると推測された。また、われわれがこれまでにを行った肘関節運動時の筋電図学的実験では、肘関節の最大外反運動を行うと Sup の活動は最大の 40% 程度まで発揮されたが、前腕回内位での外反運動ではほとんど活動しなかったことを示した⁵⁾。この現象は、本実験で Sup の活動が回内位でほとんど認めなかったことと同様であり、さらに興味深い点として回外位で外反運動を行った時の Sup の活動量は本実験で示した値と同等であったことが挙げられた。このことから、Sup は肘関節の安定性に貢献する場合は回外位に限局され、手掌接地時の反射的な筋活動においても外反運動時と同等の力を発揮させることが分かった。

ECU に関しては、新鮮冷凍死体を用いた筋の牽引実験があり、その報告では ECU を牽引すると肘関節の外反運動が生じたことが示されている⁶⁾。また、解剖学的に観察した報告では、ECU を含む伸筋群の腱線維は外側側副靱帯複合体に融合していることが確認されている。これらのことから、本研究で示した ECU の活動は肘関節の内反ストレスに対する外側部の支持性を得るためのものである可能性

が高いと考えた。しかし、ECU は手関節の安定性にも関与している筋であり、今回の研究で示した手掌接地時の活動が実際に肘の安定性に関与したものであったかどうかは断定できなかった。

Sup および ECU の活動が手掌接地に先行して増大したことにおいては、予測的姿勢制御 (anticipatory postural adjustments : APA)^{7,8)} によるものと考えた。この APA はヒトが運動を企画して実行しようとする場合に、その運動に際して生じる姿勢の乱れを事前の筋活動によって安定させる制御機構であり、本研究で行った転倒課題の手掌接地時においても、視覚や前庭感覚による入力情報によって肘関節の外側支持機能を事前に高め姿勢の安定性を得ようとしたものと考えた。また本研究で示した Sup および ECU の先行活動は、手掌接地前約 100ms から生じており、筋活動が生じてから筋張力が発生するまでの遅延時間いわゆる電気力学的遅延を考慮すると、合理的な先行活動とも考えられた。今後は、各筋の電気力学的遅延時間を調査し、先行活動の合理性について検討する課題を企画している。

【結 語】

本研究では、転倒模倣動作において手掌を接地した際の Sup, ECRL, ECU, BB の活動特性を筋電図学的に検討した。その結果、Sup は前腕回外位で、ECU は回内位で手掌接地前から活動が増加し、これらの活動量は最大の 40% 程度まで達した。またこれらの活動特性は、それぞれ BB, ECRL とは異なるものであった。以上のことから、瞬間的な負荷が肘関節に加わった場合は Sup と ECU はそれぞれ異なる前腕肢位で機能する肘関節の動的支持筋でもある可能性が高いと考えた。

【文 献】

- 1) 関 敦仁 : 肘関節外側側副靱帯複合体の機能解剖—Y 構造の意義について—。日肘会誌。1999 ; 6 : 75-6.
- 2) Morrey BF, An KN : Articular and ligamentous contributions to the stability of the elbow joint. J Sports Med Am. 1983 ; 11 : 315-9.
- 3) Burkhart TA, Andrews DM : Activation level of extensor carpi ulnaris affects wrist and elbow acceleration responses following simulated forward falls. J Electromyogr Kinesiol. 2010 ; 20 : 1203-10.
- 4) Dunning CE, Zarzour ZDS, Patterson SD, et al: Muscle force and supination stabilize the lateral collateral ligament deficient elbow. Clin Orthop. 2001; 388: 118-24.
- 5) 小田桐正博, 大山峰生, 松沢翔太ほか : 肘関節における回外筋の動的支持機能。日肘会誌。2012 ; 19 : 298-301.
- 6) Lin F, Kohli N, Perlmutter S, Lim D, et al: Muscle contribution to elbow joint valgus stability. J Shoulder Elbow Surg. 2007 ; 16 : 795-802.
- 7) Lacquaniti F, Maioli C : The role of preparation in tuning anticipatory and reflex responses during catching. J Neurosci. 1989 ; 9 : 134-48.
- 8) Couzens G, Kerr G : Anticipatory and reactive response to falls: Muscle synergy activation of forearm muscles. Hand Surg. 2015 ; 20 : 343-51.