

研究題目 柔道の受身動作の分析
～頭部外傷予防を目的とした受身指導法への提言～

越田専太郎

目 次

要約	- 1 -
諸言	- 2 -
方法	- 3 -
対象	- 3 -
データの収集	- 3 -
データ分析	- 4 -
統計解析	- 4 -
結果	- 4 -
考察	- 6 -
結論	- 8 -
参考文献	- 9 -

研究題目 柔道の受身動作の分析
～頭部外傷予防を目的とした受身指導法への提言～

越田専太郎 松田雅弘

要約

平成 24 年度より開始された中学校保健体育における武道の必修化を受け、柔道時の外傷発生リスクに社会的注目が集まっている。特に、柔道時に発生する重篤な頭部外傷への関心は高く、それゆえ予防の方策を立てる必要性は高い。上記の頭部損傷は大外刈など後ろ方向への投げ技を受けた際に多く発生することから、後ろ受身の技術向上は頭部外傷の予防に貢献すると考えられる。柔道初心者に対する効果的な後ろ受身動作指導法の確立に向けては後ろ受身動作のバイオメカニクスを理解することが必要不可欠である。しかしながら、先行研究は観察による質的研究がほとんどであり、量的な分析は少ない。そこで本研究の目的は後ろ受身動作のキネマティクスおよび筋電活動を柔道初心者と熟練者と比較し、後ろ受身スキルを決定するバイオメカニクス要因を明らかにすることであった。対象は大学男子柔道選手 11 名および体育授業以外の柔道経験を有さない健康な男子大学生 13 名であった。本研究では 3 次元動作解析装置を用いて後ろ受身基本動作時の頸部、体幹、股関節、および膝関節運動、頭部並進加速度を測定した。さらに、表面筋電図により胸鎖乳突筋、外腹斜筋、腹直筋の筋活動を測定した。対象の体表ランドマーク 31 か所に反射マーカを貼付し、Miyashita 法を用いて各セグメントの相対角度変化を求めた。また、筋電データは各施行の最高値との相対値を求めることで、後ろ受身動作時の筋活動発揮パターンを示した。本研究の結果、柔道熟練者群は大きな膝関節伸展運動を示したが、柔道初心者の膝関節は動作後半においても屈曲角度が大きかった。頸部、体幹股関節の動きについても両群間で有意差は認められたが、効果量は小さくその差は大きくないことと考えられる。これらの結果は、柔道指導において頸部や体幹の動作のみならず下肢の動きについても着目する必要があることを示している。一方で筋発揮パターンは熟練者と初心者群間で有意差は認められなかった。体幹筋群の発揮は体接地の瞬間に最も大きくなり、終盤では小さくなる。一方で、頸部筋の活動は動作終盤でも高い傾向にあった。このことは受身動作時に頭部が床面に接近する時点での体幹筋活動は相対的に小さくなく、頸部筋活動の貢献が大きい可能性を示している。

諸言

柔道では試合や稽古時に身体のあらゆる部位で外傷が発生する可能性がある（西村ら, Kujala, et al., 1995; Pieter, 2005）が、頭部損傷も例外ではない。近年の研究では国民体育会出場選手中、約3分の1が、少なくとも1回以上の脳震盪を経験していると報告している（宮崎, 2011）。また紙谷ら（2013）は、硬膜外血腫のような深刻な脳損傷が2003年から2010年の7年間に於いて約30例みられたことを報告している。これらの事実を柔道指導者およびスポーツ医学関係者は重大事項としてとらえる必要があるだろう。

柔道において頭部損傷は初心者または新入生に生じていること、文部科学省は中学校1,2年生に対する武道教育を2012年度より義務付けていることから、特に初心者に対する効果的な受身指導法の確立は急務といえる。柔道における頭部損傷の発生は、投げられたときに頭部が畳に直接接触することが主原因であると考えられている（宮崎, 2010; Kamitani et al, 2013）。さらに、投げられて生じる頭部損傷の約半数は大外刈のような技で後方に投げられることで生じることが報告されている。柔道選手は後方に投げられた際に“後ろ受身”（図1）をとることになるため、頭部外傷予防においては特に、この受身動作について着目するべきである。



図1 大外刈を受けた選手の後ろ受身動作：右の選手が大外刈を仕掛けられた後、後ろ受身動作を行っている

柔道の技術書によれば、後ろ受身時に頸部や体幹を屈曲することで、頭部の畳への直接接触を防ぎ、また手で畳をたたくことで体へ加わる負荷を分散すると良いとしている（Kano, 1994）。柔道初心者では投げられたときの損傷を防ぐための受身の技術的要素を獲得できていない可能性がある。したがって、熟練者と初心者を区別する後ろ受身動作のバイオメカニクスの要因を同定することは初心者における受身の効率的な習得法および頭部損傷の予防法の構築につながると考える。

いくつかの先行研究においても受身動作のバイオメカニクスを熟練者と初心者の比較から分析している。しかしながら、それらの多くは横受身動作など異なる方向への受身動作の分析や（van Swigchem et al, 2009; van der Zijden et al, 2012; Groen et al, 2007, 2010; Weerdesten et al, 2008）観察による質的なアプローチ（重岡と三浦, 2001; 三戸と飯田, 2008）にとどまっていたため、頭部損傷予防につなげるための受身動作のバイオメカニクス情報としては不十分であるといえる。そこで本研究の目的は、柔道の後ろ受身動作時の頸部、体幹、股関節、膝関節運動ならびに頸部、体幹筋活動につ

いて明らかにし、柔道初心者と熟練者間で比較することであった。

方法

対象

大学柔道部に所属する健康な男性柔道競技選手 11 人（平均 ± 標準偏差 年齢 19.9 ± 0.18 歳，身長 1.64 ± 0.05 m，体重 70.1 ± 8.8 kg，柔道経験 11.1 ± 4.0 年）および柔道の競技経験を有さない柔道初心者 13 人（平均 ± 標準偏差 年齢 21.3 ± 0.9 歳，身長 1.69 ± 0.07 cm，体重 68.1 ± 9.8 kg）が本研究に参加した。本研究に参加した全ての柔道初心者は同じ指導者の柔道の授業（90 分×10-15 回）を受講した経験を有していた。本測定の危険性を説明した後，全ての対象から書面によるインフォームドコンセントを得た。なお，本研究のプロトコールは了徳寺大学健康科学部生命倫理委員会の承認を得た。

データの収集

8 台のカメラで構成された 3 次元動作解析装置（MAC3D motion analysis system, Motion Analysis, Inc., CA, USA）を用いて実施した。データ収集の前に対象には 31 個の反射マーカ（直径 1.9 cm）を頭頂部，前頭部，後頭部，乳様突起，肩峰，肘，手首，胸骨上部，第 10 肋骨前部，剣状突起，上前腸骨棘，大転子，大腿骨内/外側上顆，内/外果，第二中足骨骨頭，踵の計 31 部位に貼付した。また，通常の皮膚処理を施した後に胸鎖乳突筋，外腹斜筋，腹直筋に電極を添付した。（図 2）筋電図のデータは 8 チャンネルの筋電図測定器（Tele MyoG2 system (Noraxon U.S.A. Inc., Scottsdale, USA)）を用いて測定した（測定周波数:1,000Hz）。

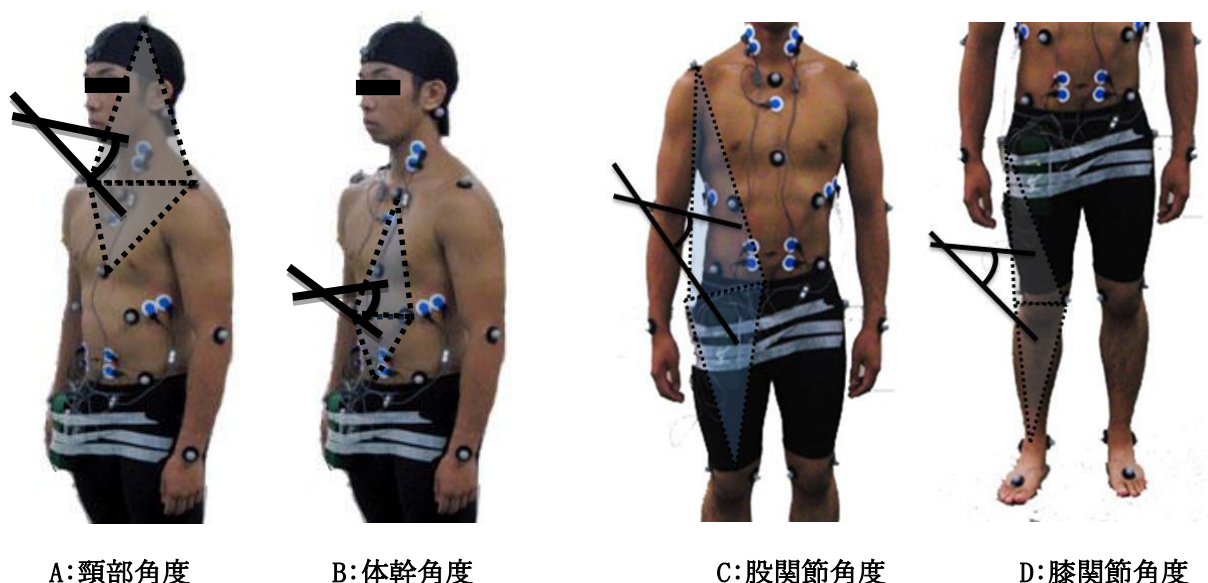


図 2 反射マーカと筋電図電極の貼付部位および Miyashita 法による頸部および体幹セグメントの定義：
A: 頸部角度，B: 体幹角度，C: 股関節角度，D: 膝関節角度

対象は少なくとも 5 回の後ろ受身動作（図 3）を実施した。まず，股関節，膝関節を屈曲した状態で平行棒を両手で把持した状態を開始姿勢とし，対象自身のタイミングで後方のウレタンマットに向けて後ろ受身動作を実施した。なお，対象は安全のために測定時には柔道用ヘッドギアを装着していた。

データ分析

対象の頭部が後方に動き出す時点から頭部が鉛直軸上で最低点を取る点までの後ろ受身動作を分析した。運動学および筋電図情報を電氣的に同期し、群間の比較のために 100%に規格化した。また、最初に体が接地した時点および手をたたいた時点についても床反力計データにより同定した(図3)。

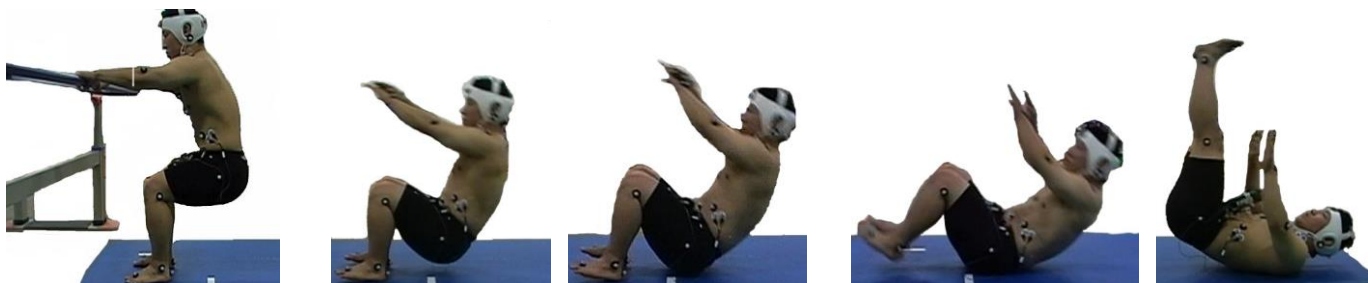


図3 本研究で対象が実施した後ろ受身の基本動作

本研究では頸部、体幹角度を Miyashita 法 (Miyashita et al, 2008) を応用して算出した。Miyashita 法とは体表ランドマークに貼付した反射マーカで隣接する 2 つ三角形を定義し、角度を得る方法である。例えば、頸部角度の算出では両肩峰マーカと頭頂部マーカ間で 1 つの三角形を、両肩峰マーカと剣状突起マーカでもう一つの三角形を定義する。三角形それぞれの法線ベクトルを得た後、両法線ベクトルの内積を算出しそのコサイン角を頸部角度とした。体幹角度は胸骨上部マーカと両肋骨マーカ間の三角形と両上前腸骨マーカの中点マーカの三角形間の角度、股関節角度は両上前腸骨マーカの中点、大転子、膝マーカの中点間の三角形と両上前腸骨マーカの中点、大転子、肩峰マーカの三角形間の角度、膝関節角度は膝マーカの中点と大転子の三角形と膝マーカの中点と足関節マーカの中点の三角形間の角度とし、頸部角度と同様の手順で各三角形 (すなわちセグメント) 間の角度を算出した (図2)。対象の静止立位時の角度を 0° とし、そこからの変化量を分析に用いた。なお、屈曲方向への変化を正の値とした。さらに、頭部の矢状面上の加速度も算出した。

筋電図データは全波整流した (バンドパスフィルター:10-350 Hz) のち、各筋の筋電情報を各施行の最大値により標準化した (% peak EMG amplitude of each trial)。さらに筋電データの相対値について動作期間 10%毎に平均値を算出した。これにより、筋発揮パターンが明らかになると考えた。なお、分析には両側の平均値を用いた。

統計解析

全ての統計解析は表計算ソフトウェア Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft 社)および統計分析ソフト R (R development core team) を用いて実施した。運動学データの分析のために、まず頸部、体幹それぞれの角度-時間曲線の直線回帰式を求め、熟練者群および初心者群間の回帰直線の平行性を検討した。回帰直線の平行性が認められた場合にはさらに共分散分析を用いて、両回帰式の差を検討した。なお効果量の判定には相関比(η^2)を用いた。また、頭部の最高加速度についても student の t 検定で両群の平均値の差を検討した。筋電データの分析では逆正弦変換したのち、繰り返しのある二元配置分散分析 (混合モデル) を用いて両群間の差を検討した。統計的有意水準は 5%とした。

III. 結果

図4は頭部加速度の変化を示している。熟練者群の平均最高加速度は $2.11 \pm 0.57 \text{ g/s}^2$ 、初心者群で

は $1.69 \pm 0.48 \text{ g/s}^2$ であり, 両群間に有意な差は認められなかった ($P=0.06$). なお, 後ろ受身動作において体が接地するタイミングは熟練者群で $54.5 \pm 7.7 \%$ で, 初心者群では $51.1 \pm 6.6 \%$ であった. また, 手が接地するタイミングは熟練者群で $78.8 \pm 10.3 \%$, 初心者群で $73.5 \pm 4.7 \%$ であった.

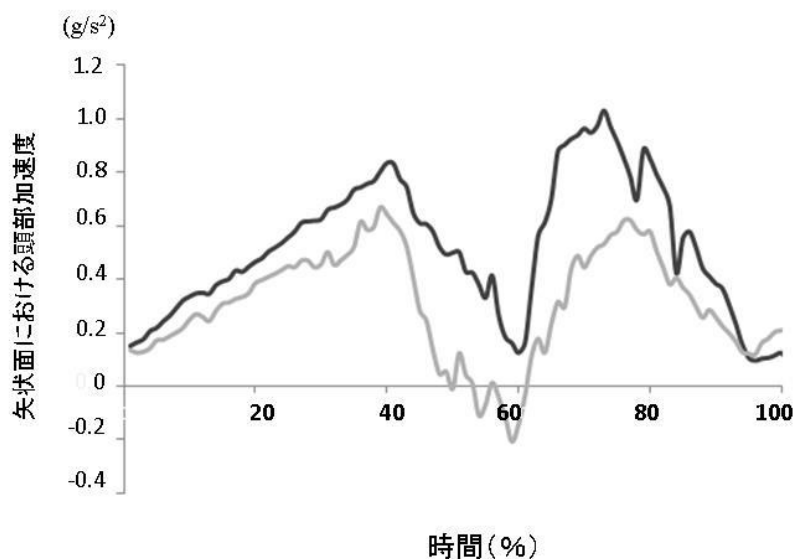


図4 後ろ受身動作時の頭部加速度の変化: 黒線は熟練者、灰色の線は初心者のデータである

図5は後ろ受身動作時の頸部, 体幹, 股関節, および膝関節の角度変化曲線を示している. 熟練者群における各角度の時間変化の直線回帰式は頸部で $y = 0.8067x - 51.205$, 体幹で $y = 0.1338x - 1.1107$, 股関節で $y = -0.3629x + 117.15$, 膝関節で $y = -0.889x + 122.05$ であった. また, 初心者群における各角度の時間変化の直線回帰式は頸部で $y = 0.9526x - 56.38$, 体幹で $y = 0.1531x - 0.3907$, 股関節で $y = -0.3439x + 119.86$, 膝関節で $y = -0.6091x + 108.41$ であった. 回帰直線の平行性を検討した結果, 頸部角度および膝関節では有意な平行性は認められなかった(頸部角度: $F = 46.998$, $df_1 = 1$, $df_2 = 2420$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.019$; 膝関節角度: $F = 72.020$, $df_1 = 1$, $df_2 = 2420$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.029$). つまり, 熟練者と初心者では角度変化の傾向が異なっていた. 一方で, 体幹および股関節角度における両群間の直線回帰式では平行性は確認されたが (体幹: $F = 1.758$, $df_1 = 1$, $df_2 = 2420$, $p = 0.185$; 股関節: $F = 1.29$, $df_1 = 1$, $df_2 = 2420$, $p = 0.256$), 共分散分析の結果, 熟練者と初心者の回帰直線には有意な差が認められた (股関節: $F = 51.684$, $df_1 = 1$, $df_2 = 2421$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.01$; 体幹: $F = 15.684$, $df_1 = 1$, $df_2 = 2421$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.006$).

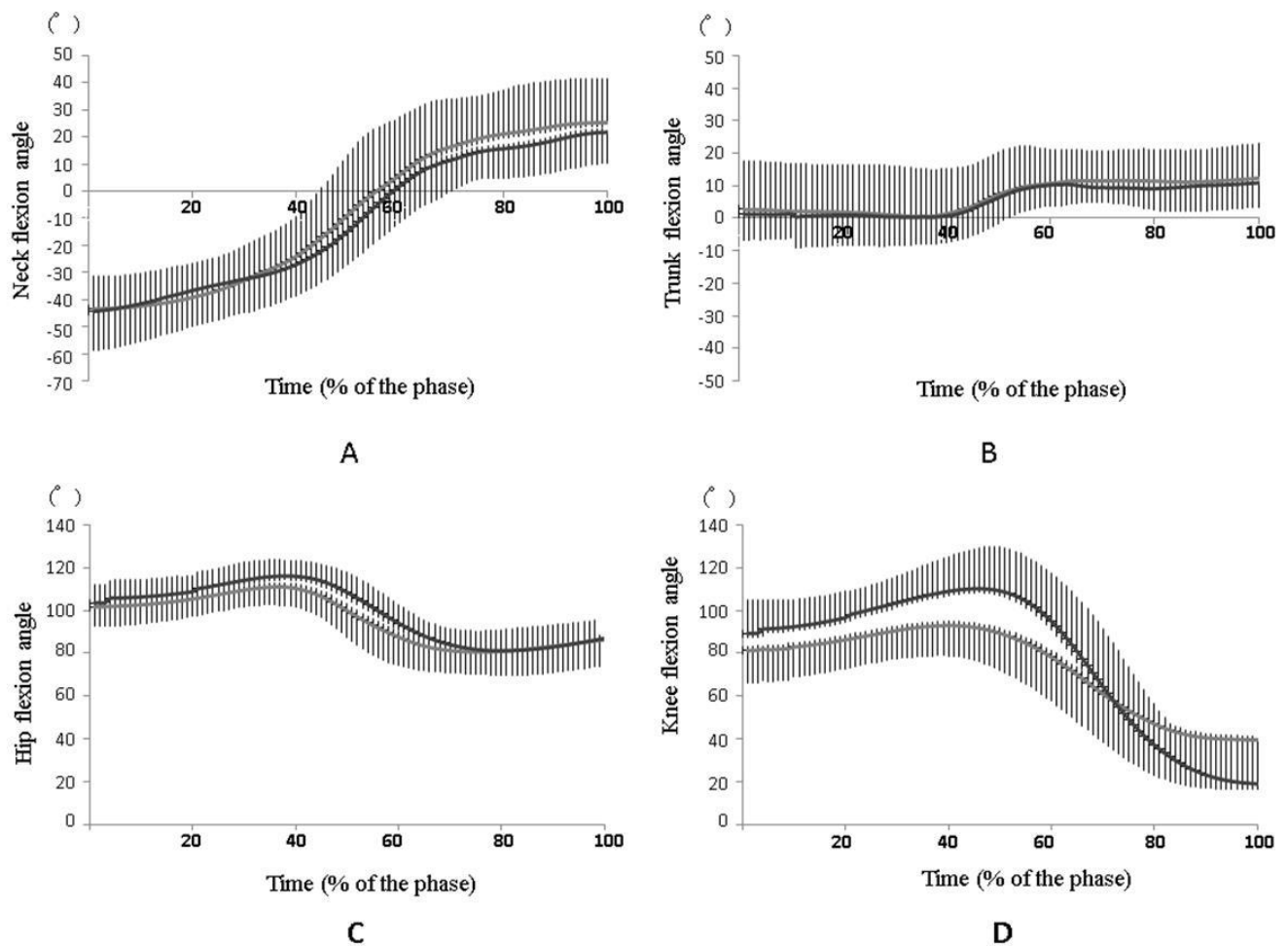


図5 後ろ受身動作時の頸部、体幹セグメントの角度変化：
 黒線は熟練者、灰色の線は初心者データである。縦線は標準偏差を示している。
 A: 頸部角度、B: 体幹角度、C: 股関節角度、D: 膝関節角度

図6は胸鎖乳突筋、外腹斜筋、腹直筋の筋電データを示している。2元配置分散分析の結果、頸部筋活動においては交互作用が有意であった($F = 3.282, df = 9, p < 0.001$)。単純主効果分析の結果、熟練者群と初心者群間で、どの水準においても有意差は認められなかった。また、体幹の筋活動パターンでは交互作用は有意ではなく、両群間に有意差は認められなかった ($F = 0.436, df = 1, p > 0.05$)。

IV. 考察

柔道における頭部外傷は社会的注目を集めている。投げられたことによる畳への頭部の直接接触は頭部外傷発生の主要原因であると考えられること、またこれらの外傷が新入生に多くみられることから指導者が初心者に対して効果的な受身指導を行うことは重要であると考えられる。そこで本研究の目的は柔道熟練者と初心者の比較から、受身の技術を区別するバイオメカニクスの要因を同定することであった。

熟練者と初心者最も大きな差は膝関節に認められた。両群とも体接地後より膝は伸展方向への運動を行っているものの、熟練者群は初心者群と比較して大きく膝を伸展する傾向が認められた。先行研究は、初心者が後ろ受身動作時に下肢を屈曲させ体全体を丸める傾向にあり、そのため、頭部

を強打する傾向にあると指摘している（重岡と三浦, 2001; 三戸と飯田, 20081）。本研究においても初心者は熟練者と比較して膝関節を屈曲させたまま動作を行う傾向であった（図 7）。理論的には膝関節の伸展は下肢の質量中心と回転軸の距離を延長させ、その結果後方への回転を減速させると考えられる。頭部を接触させないために、頸部、体幹の屈曲が重要であることに疑いはないが、柔道初心者への指導時にはこれらに加えて、下肢動作にも着目する必要があるかもしれない。

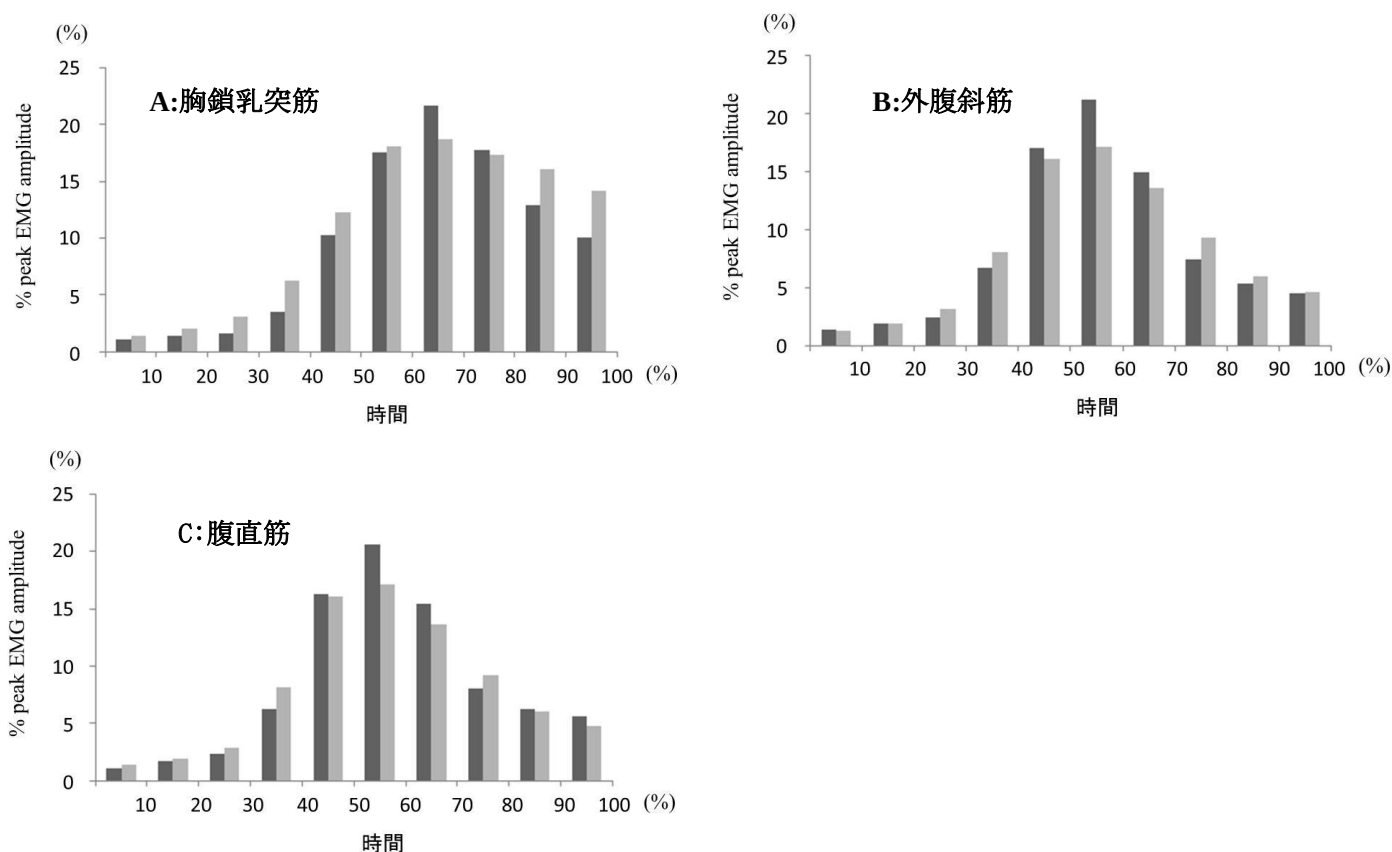


図 6 後ろ受身動作時の筋発揮パターン：

黒のグラフは熟練者，灰色のグラフは初心者のデータである．

A：胸鎖乳突筋，B：外腹斜筋，C：腹直筋



A:熟練者

B:初心者

図7 後ろ受身動作の典型例：A. 熟練者，B. 初心者

本研究の結果は頸部運動のパターンが熟練者と初心者では異なる可能性を示している。しかしながら、効果量は小さく、この結果の解釈には注意が必要であろう。両群とも全運動時間の約 70%に達するまで頸部は屈曲を続け、屈曲約 20 度の時点から変化なしまたはやや屈曲するという傾向であった。おそらく実際的には本研究でみられた統計的差異の意味は小さいと考えられる。また、体幹および股関節角度においては、変化の傾向に両群間で差異は認められないものの、角度の大きさに差が認められた。しかしながら、効果量は非常に小さく両群の差は大きくない。おそらく受身学習の上では頸部、体幹の屈曲は非常に強調して教育されるため、柔道初心者が短期間の柔道授業を受けたのみであっても、後ろ受け身動作時の頸部・体幹運動に熟練者との大きな違いが認められなかった可能性がある。

一方、筋活動に頸部、体幹筋群ともに有意差は認められなかった。筋発揮パターンを観察すると、体幹筋群は後ろ受身動作での最初の接地に反応して最も活動が高くなり、頸部筋群は体幹よりも遅い段階でより筋活動が高くなる傾向であった。頭部が鉛直軸上で床に近くなり、大きい加速度が加わる動作の後半において、頭部が安定し後方に振られないことが、頭部損傷の予防に重要であると考えられるが、その際の体幹筋群の役割は大きくない可能性がある。

本研究では分析を行わなかったものの、理論的には手で床を叩くことは体に加わる運動量を減少させる役割があると考えられる(吉福, 1995) ため、安全な後ろ受身動作獲得のために無視できない動作である(藪根ら, 2011)。また、測定動作とした後ろ受身の基本動作時に生じる頭部加速度は、実際に投げられた場面での加速度と比較して小さい(石井ら, 2013)。そのため、柔道で生じる頭部外傷の予防につなげるための情報としては、本研究の結果は十分ではない可能性がある。今後の研究では手部の運動の分析を含め、実際の投げ技動作時の受身動作を研究する必要があるだろう。

V. 結論

本研究において、頸部・体幹の運動において熟練者と初心者間で有意な違いが認められ、特に膝関節運動では、初心者は熟練者と比較して屈曲を維持する傾向であった。また、頸部および体幹部の筋発揮のパターンは初心者と熟練者群間で有意差は認められなかったものの、体幹筋群は頸部

筋群と比較して動作の早い段階で活動が大きくなる傾向がみられた。

VI. 参考文献

1. 西村典子, 中村豊, 有賀誠司ほか (2003) スポーツ選手の傷害調査. 東海大学スポーツ医科学雑誌. 15, 60-66.
2. Kujala, U.M., Taimela, S., Antti-Poika, I., Orava, S., Tuominen, R., & Myllynen, P.(1995). Acute injuries in soccer, ice hockey, volleyball, basketball, judo, and karate: analysis of national registry data. *British Medical Journal*. 311, 1465-8.
3. Pieter, W. (2005). Martial arts injuries. *Medicine and Sport Science*, 48, 59-73.
4. Kamitani, T., Nimura, Y., Nagahiro, .S, Miyazaki, S., & Tomatsu, T. (2013). Catastrophic head and neck injuries in judo players in Japan from 2003 to 2010. *American Journal of Sports Medicine*, 41, 1915-1921. doi:10.1177
5. 宮崎誠司 (2010) 柔道における頭部外傷の予防—脳震盪から重篤な頭部外傷を考える. 東海大学紀要体育学部. 40, 173-176.
6. Kano, J. (1994). Kodokan Judo: The Essential Guide to Judo by Its Founder Jigoro Kano, Tokyo: Kodansha International.
7. van Swigchem, R., Groen, B.E., Weerdesteyn, V., & Duysens, J. (2009). The effects of time pressure and experience on the performance of fall techniques during a fall. *Journal of Electromyography & Kinesiology*, 19, 521-31.
8. van der Zijden, A.,M., Groen, B.,E., Tanck, E., Nienhuis, B., Verdonshot, N., & Weerdesteyn, V. (2012). Can martial arts techniques reduce fall severity? An in vivo study of femoral loading configurations in sideways falls. *Journal of Biomechanics*, 45, 1650-1655.
10. Groen, B., E., Weerdesteyn, V., & Duysens, J. (2007). Martial arts fall techniques decrease the impact forces at the hip during sideways falling. *Journal of Biomechanics*, 40, 458-462.
11. Groen, B., E., Smulders, E., Duysens, J., van Lankveld, W & Weerdesteyn, V. (2010). Could martial arts fall training be safe for persons with osteoporosis?: a feasibility study. *British Medical Journal Research Notes*, 3, 111.
12. Weerdesteyn, V., Groen, B., E., van Swigchem, R., & Duysens, J. (2008). Martial arts fall techniques reduce hip impact forces in naïve subjects after a brief period of training. *Journal of Electormyography and Kinesiology*, 18, 235-242.
13. 重岡孝文, 三浦修史 (2001)後ろ受身の習熟に関する研究: 中腰からの後ろ受身について. 鹿屋体育大学学術研究紀要. 26,1-13.
14. 三戸範之, 飯田哲也 (2008) 柔道後ろ受身の方法: 頭部と腕の安全のために. 秋田大学教育文化学部研究紀要 教育科学部門. 63, 71-78.
15. Miyashita, K., Urabe, Y., Kobayashi, H., Yokoe, K., Koshida, S., Kawamura, M. & Ida, K. (2008).Relationship between maximum shoulder external rotation angle during throwing and physical variables. *Journal of Sports Science and Medicine*, 7, 47-53.
16. 吉福康郎 (1995) 格闘技「奥義」の科学 わざの神髄, 講談社, 東京. 162-171.
17. 藪根敏和, 大宅和幸, 有山篤利, 藤野貴之 (2011) 柔道のよい受身動作の解明と, 動作の学習法と評価法に関する検討. 京都教育大学紀要. 119,71-85.
18. 石井孝法, 越田専太郎, 阿江通良(2013) 柔道固有の動作における受の頭部角加速度. 初心者頭部外傷予防について. 日本体育学会第 64 回予稿集. 296.