

頸髄損傷者における車椅子バスケットボールシュート動作の 三次元動作解析

A three-dimensional cinematographic analysis of wheelchair basketball shooting motion in individuals with quadriplegia

道 用 亘* 布 目 寛 幸**
池 上 康 男** 矢 部 京之助**

Wataru DOYO*, Hiroyuki NUNOME**
Yasuo IKEGAMI**, Kyonosuke YABE**

The purpose of this study was to investigate the wheelchair basketball shooting motion in individuals with quadriplegia. Seven subjects (six male and one female) volunteered to participate in this study. Their double hand free-throw motions were sampled by two high-speed video cameras (Nac HSV400) at 200fps. The direct linear transformation (DLT) method was used to obtain three-dimensional movements of the throwing arms. Following seven joint angle changes in the upper extremities were obtained throughout the shooting motion; horizontal abduction/adduction (a), abduction/adduction (b) and internal/external rotation (c) at the shoulder joint, flexion/extension (d) at the elbow joint, pronation/supination (e), radial/ulnar flexion (f) and palmar/dorsi flexion (g) at the wrist joint.

The ball could be reached to the official height rim except for one subject, then subjects were divided into two groups; Reachable subjects (could reach the ball to the goal, RS group) and unreachable subject (could not reach, URS group). RS showed the greater ranges of motions in abduction/adduction and horizontal abduction/adduction at the shoulder joint than those of URS. The results indicated that sufficiently large range of motion at the shoulder joint may be required to give the ball kinetic energy to reach the goal. Moreover, angular displacement pattern of palmar/dorsi flexion at the wrist joint suggested that wrist palmar flexor was stretched immediately before it began to shorten. It may be considered that elastic energy in the tendon of wrist palmar flexor may be utilized to give the ball enough speed to reach the height of the rim.

1. 緒 言

下肢の知覚と運動が麻痺した頸髄損傷者（頸損者）は、上肢の随意運動が可能な残存筋の減少により身体活動が制限され、体力低下が憂慮される。今日では障害者を対象とした「アダプテッド・スポーツ」⁷⁾の有用性が提唱され、多くの頸損者が様々な車椅子スポーツに参加し、体力の維持・向上に努めるようになった。

日本では車椅子バスケットボールのルールを

下に、頸損者向けに考案されたツインバスケットボールが盛んである¹³⁾。ツインバスケットボールにおいても通常のバスケットボールや車椅子バスケットボールと同様にシュートが重要な技術であると考えられる。

しかしながら頸損者は下肢のみならず上肢の運動機能の一部が制限されているため、最も基本的なフリースローでさえ、ゴールの高さ(3.05m)にボールを到達できない個人もいる。シュートしたボールをゴールへ到達させるため

* 名古屋大学大学院医学研究科社会医学系健康増進科学Ⅱ

** 名古屋大学総合保健体育センター

* Department of Health Promotion Science II, Post Graduate School of Medicine, Nagoya University

** Research Center of Health, Physical Fitness & Sports, Nagoya University

にはリリース時に十分なボール初速度、投射角度を得る必要があり、これらの初期条件は投動作およびそれに先行する予備動作により決定される⁴⁾と考えられる。しかしながら車椅子バスケットボール選手のシュート動作における上肢の運動を報告した研究はほとんど無く、上肢の動作と投能力との関係が不明瞭である。

したがって本研究の目的は、頸損者の車椅子バスケットボールシュートのフリースロー動作における上肢の運動を三次元映画解析法を用いて定量化し、その基礎的資料を得ることである。

2. 方 法

1) 被検者

頸損者7名(男性6名、女性1名)に実験参加の協力を得た。被検者はいずれもツインバスケットボール競技の競技者であり、脊髓損傷部位はC7～C4であった(表1)。

2) 実験試技

車椅子に座った被検者は、フリースローサークル前縁(ゴールから2.16mの距離)からミニバスケットボール用5号球(重量478g)を両手でシュートする試技を10回繰り返し、同時に後方と側方に配置した高速度ビデオカメラ

(nac社製、HSV400)により200コマ/秒の速度で撮影が行われた(図1)。撮影された領域をほぼカバーするように配置された16点のコントロールポイントから各カメラのDLTパラメーターを設定し、右上肢および右上肢に付属の小ボールの3次元座標を算出した(図2)。ボールを通常のゴールの高さ(3.05m)まで到達できた被検者に関してはシュートが成功した3試行を、到達できなかった被検者は比較的動作が安定した3試行を抽出し分析を行った。

3) データ処理

桜井ら¹⁰⁾の方法にしたがって上肢の各セグメントを示すベクトル、体幹を示すベクトル、左右の肩峰点を結んだベクトル、体幹を示すベクトルと両肩峰を結んだベクトルとの外積によってできるベクトル、前腕部に取りつけた小ボールを示すベクトルおよび前腕部と小ボールの外積によってできるベクトルを定義した(図2)。各ベクトルの成す角度から肩関節の内転/外転角度、水平位内転/外転角度、内旋/外旋角度、肘関節の屈曲/伸展角度、手関節の背屈/掌屈角度、橈屈/尺屈角度、回内/回外角度を算出し、2次の双方向バターース型デジタルフィルター¹⁴⁾を用いて遮断周波数14.3Hzで平滑化した⁹⁾。

Table 1 Physical characteristics of subjects.

Subject	Age (years)	Height (m)	Weight (kg)	Spinal cord lesion level	Duration from injury (years)
REACHABLE (RS)					
YA	27	1.70	48	C7	7
YO	35	1.76	50	C6	11
SA	34	1.64	55	C4.5	6.5
MU	28	1.65	59	C6	6.5
WA	39	1.65	49	C6	11.5
HA	48	1.80	70	C7	13
UNREACHABLE (URS)					
KO	26	1.60	52	C7	8.5

シュート動作の三次元動作解析

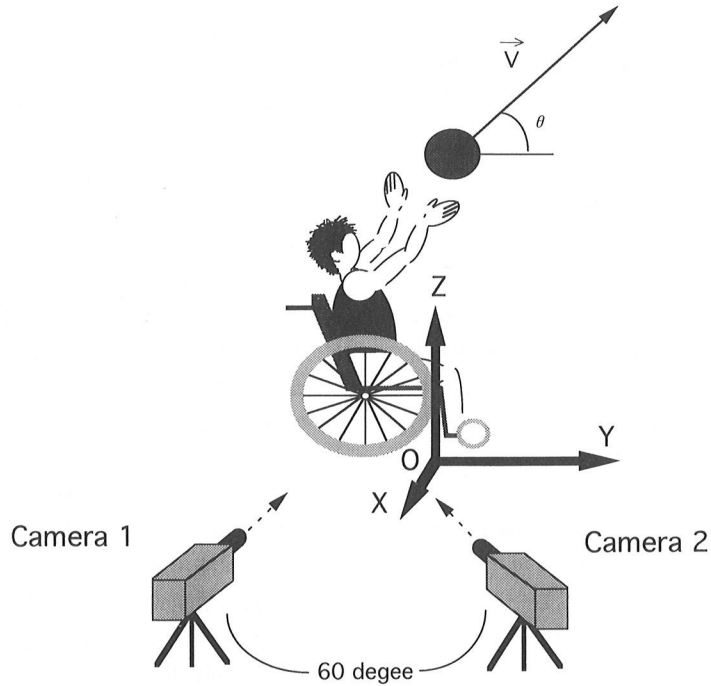


Figure 1 Schematic diagram of experiment.

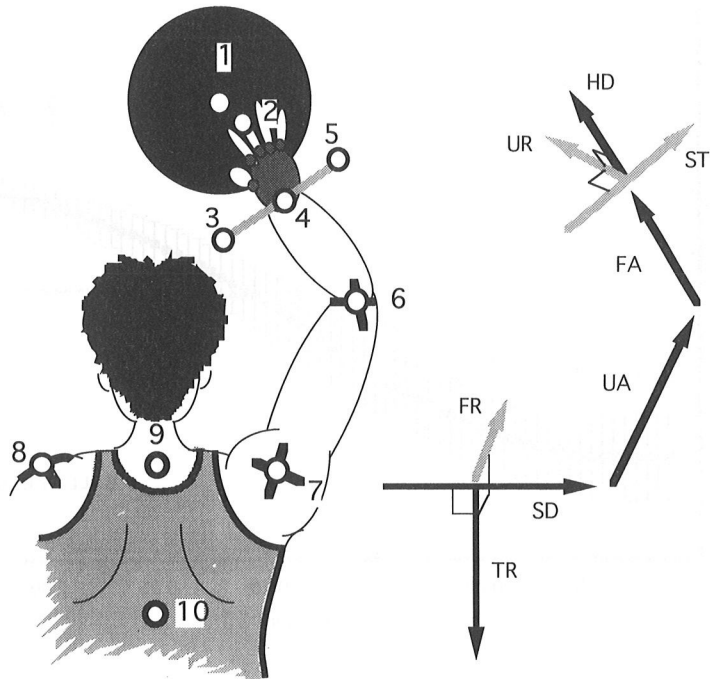


Figure 2 Digitized landmarks and definition of the vectors used to detect the upper limb motion.

映像より求めた関節角度変化について、ボールをゴールに到達できた被検者群（以下RS）と到達できなかった被検者（以下URS）を比較した。

3. 結 果

1) 肩関節角度

内転／外転角度について（図3）、RSはURSに比べやや遅い時刻（リリース0.265秒前）より次第に外転し、116.4度でボールをリリースしていた。またRSの関節可動域(ROM)は83.4度でありURSの32.8度より大きい傾向が窺えた。

水平内転／外転角度について（図4）、RSはリリースまで内転し続け、-66.9度でリリースしていたが、URSはRSに比べやや遅い時刻（リリース0.10秒前）より内転を開始し、-46.3度でボールをリリースしていた。ま

たRSのROMは46.0度でありURSの18.8度より大きい傾向が窺えた。

内旋／外旋角度について（図5）、RSはURSよりやや外旋位から内旋し始めていたが、リリース時はRSは127.6度、URSは143.2度であった。またRSのROMは75.9度でありURSの67.2度より大きい傾向が窺えた。

2) 肘関節角度

屈曲／伸展角度について（図6）、RSはリリース0.14秒前より急激に伸展し始めたが、URSはやや早い時刻（リリース0.25秒前）より緩やかに伸展を開始していた。リリース時はRSは45.1度、URSは43.1度とほぼ同様の値を示した。またRSのROMは72.6度でありURSの99.8度より小さい傾向が窺えた。

3) 手関節角度

背屈／掌屈角度について（図7）、RSはリリース0.065秒前より急激に掌屈し始め、URSはやや速い時刻（リリース0.10秒前）より掌屈

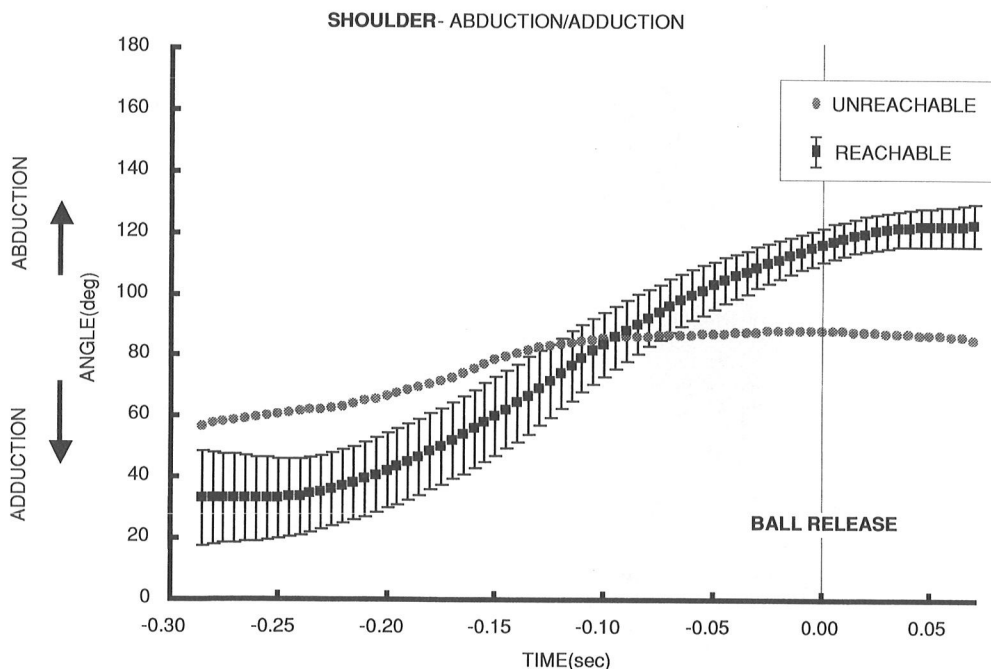


Figure 3 Comparison of the angle changes of abduction/adduction at shoulder between reachable subjects and unreachable subject.

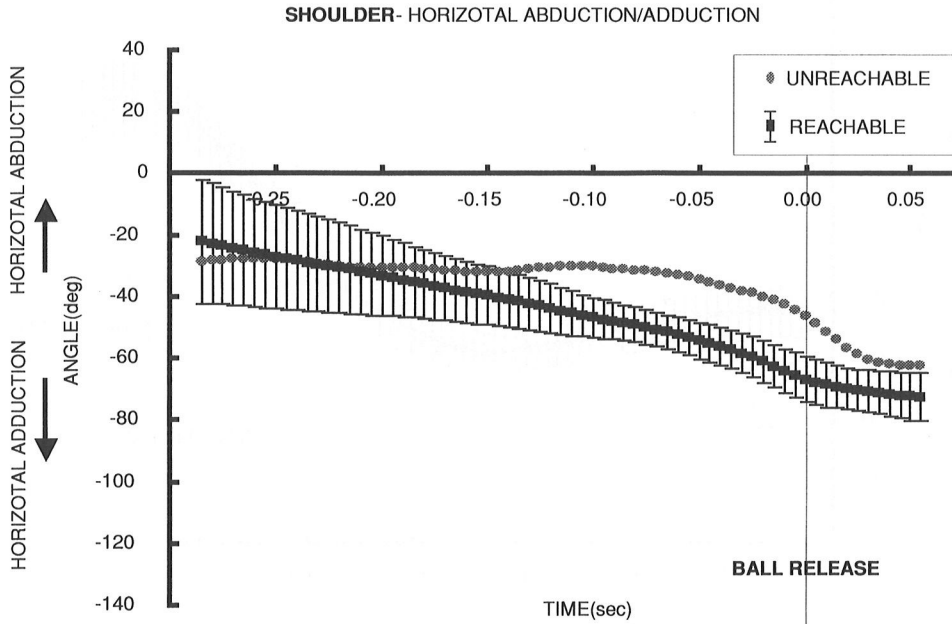


Figure 4 Comparison of the angle changes of horizontal abduction/adduction at shoulder between reachable subjects and unreachable subject.

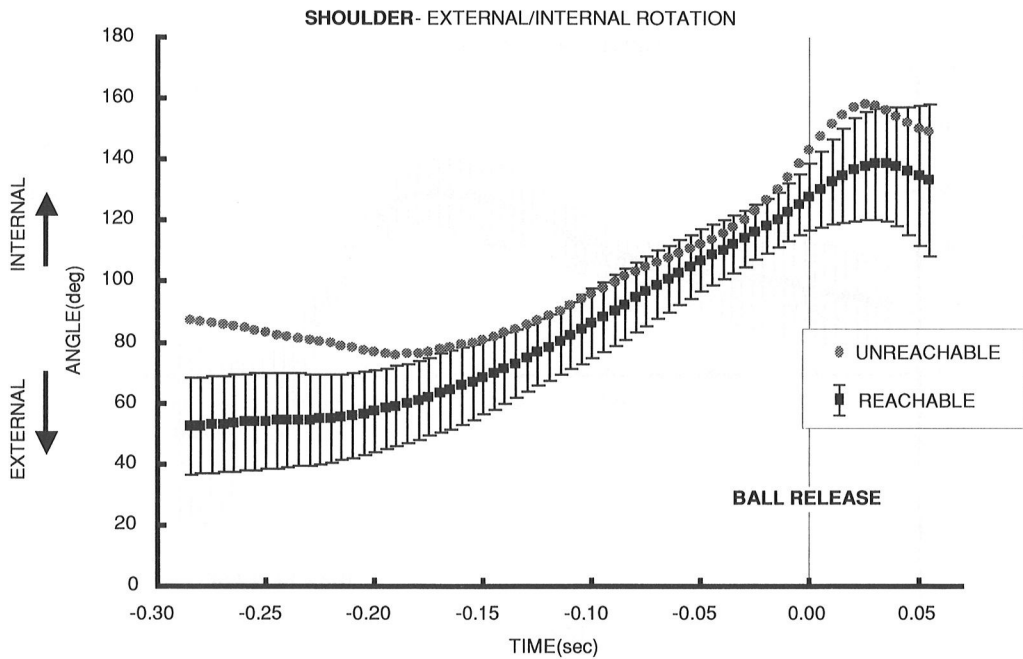


Figure 5 Comparison of the angle changes of external/internal rotation at shoulder between reachable subjects and unreachable subject.

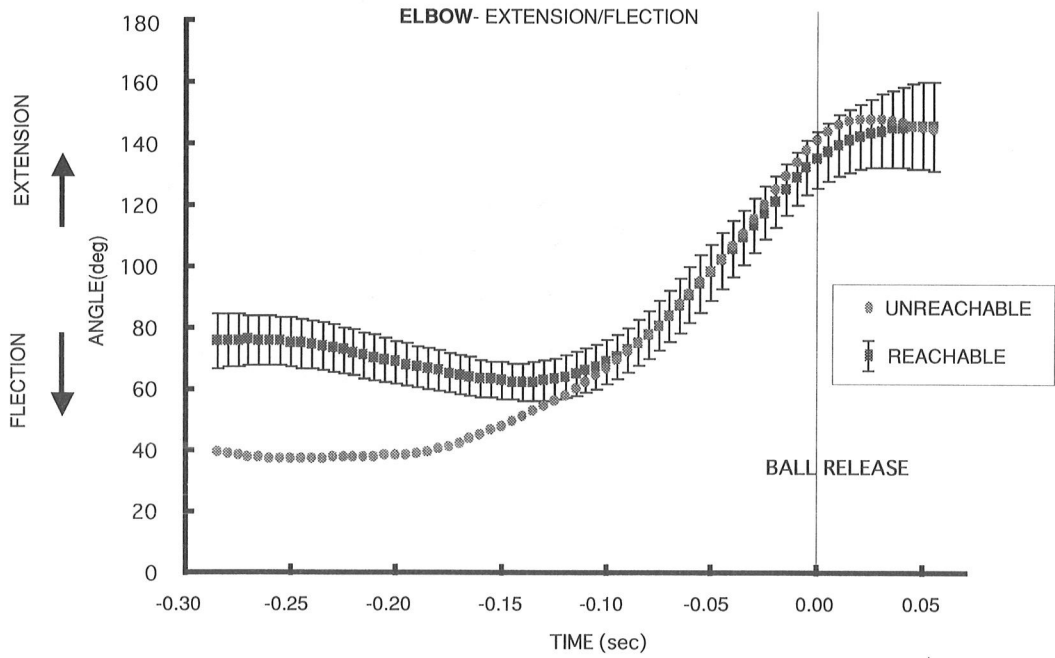


Figure 6 Comparison of the angle changes of flection/extension at elbow between reachable subjects and unreachable subject.

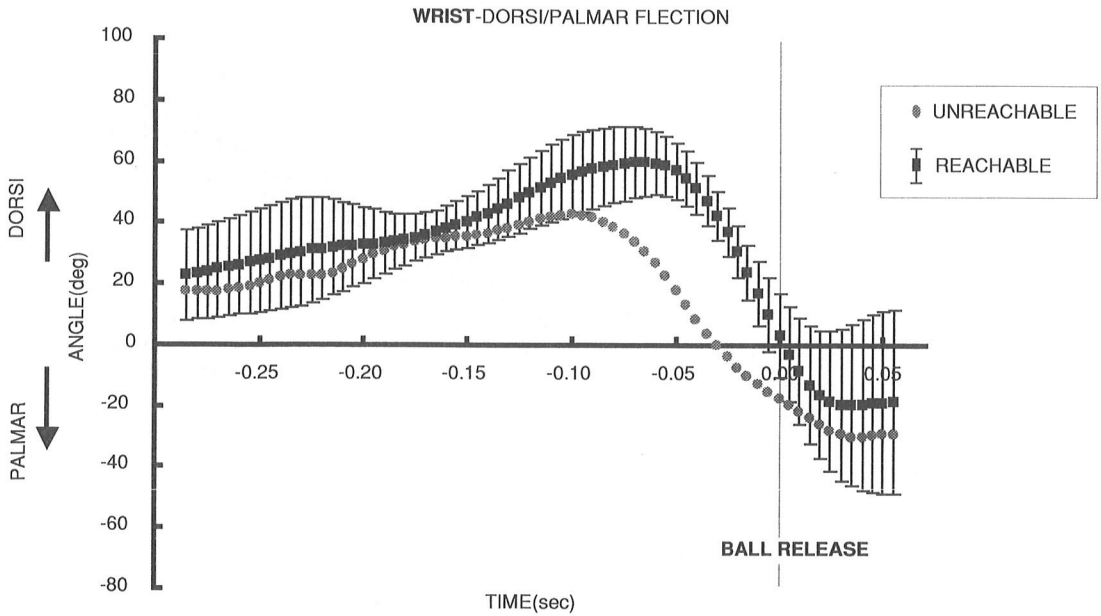


Figure 7 Comparison of the angle changes of dorsi/palmar flection at wrist between reachable subjects and unreachable subject.

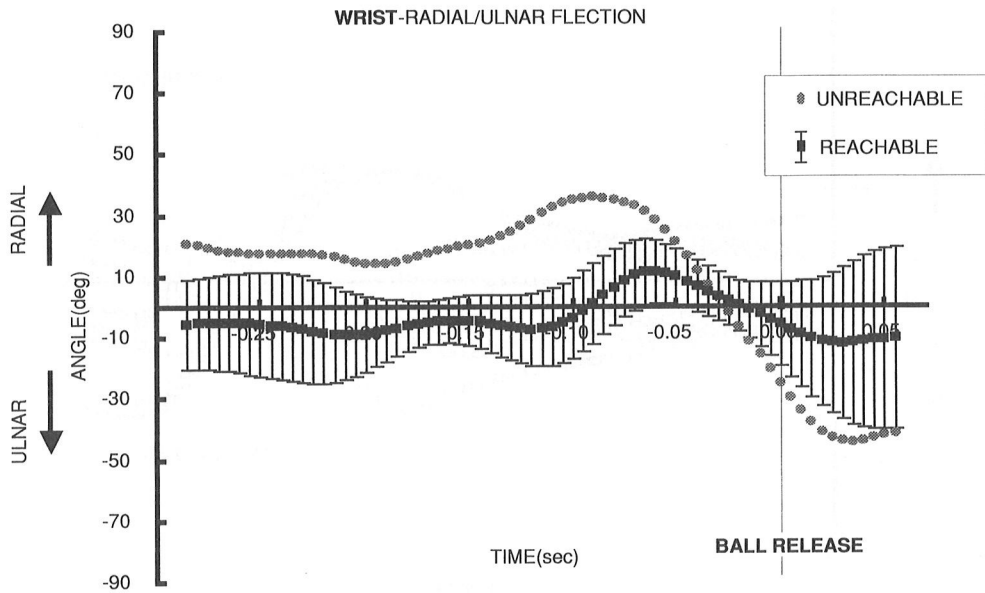


Figure 8 Comparison of the angle changes of radial/ulnar flexion at wrist between reachable subjects and unreachable subject.

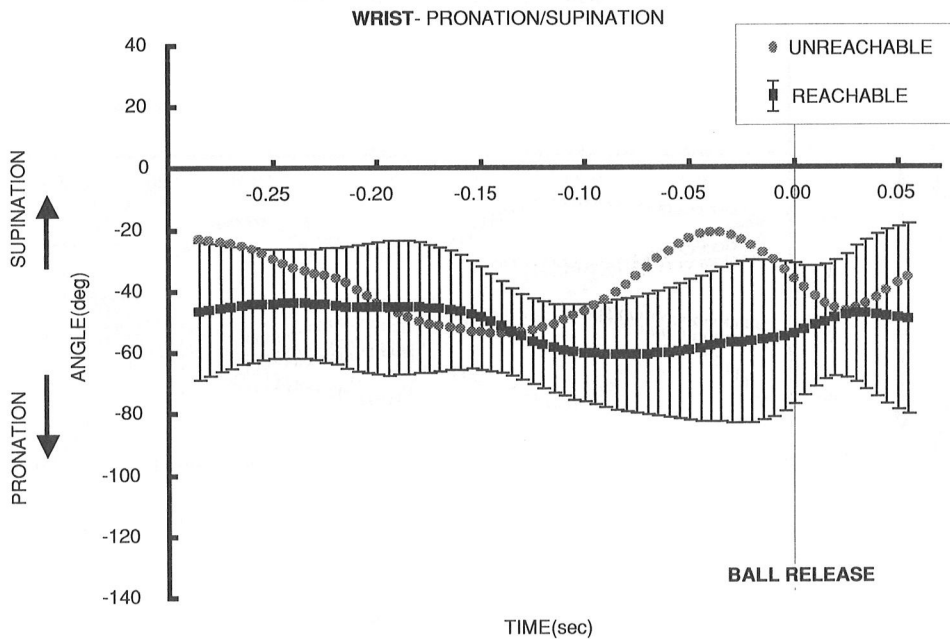


Figure 9 Comparison of the angle changes of pronation/supination at wrist between reachable subjects and unreachable subject.

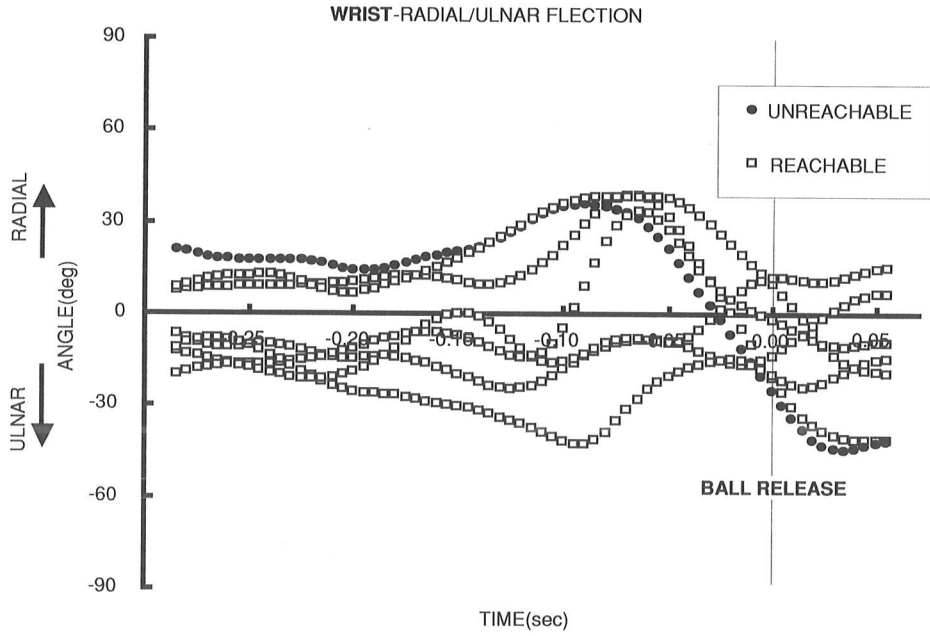


Figure 10 Angle changes of radial/ulnar flexion at wrist in each subject.

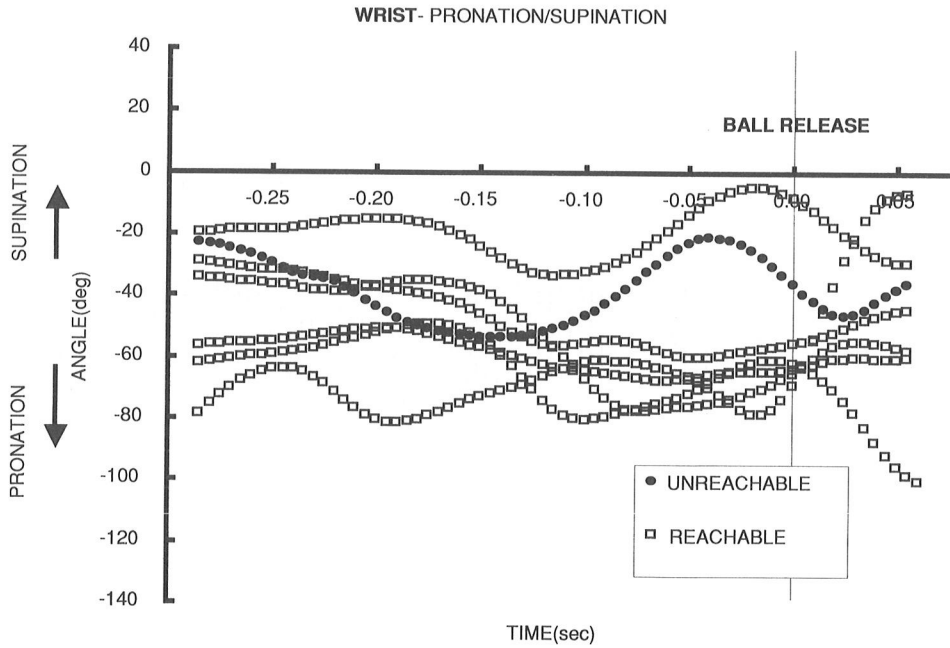


Figure 11 Angle changes of pronation/supination at wrist in each subject.

を開始していた。またRSのROMは62.9度でありURSは60.2度であった。

橈屈／尺屈角度について(図8)、RS、URSとも尺屈位でリリースを行っていたが、RS間のばらつきが大きく、両者の間に明確な角度変化パターンの違いは見られなかった。またRSのROMは20.5度でありURSの60.8度より小さい傾向が窺えた。

回内／回外角度はRS、URSとも回内位でリリースしていたが、橈屈／尺屈角度と同様、明確な角度変化パターンの違いは窺えなかった(図9)。またRSのROMは16.9度でありURSの32.7度より小さい傾向が窺えた。

4. 考 察

本研究は頸髄損傷者の車椅子バスケットボールシュート動作における上肢の運動を三次元映画解析法を用いて定量化し、ボールをゴールに到達できた頸髄損傷者と到達できなかった頸髄損傷者を比較した。

吉福¹⁵⁾は、関節の運動範囲が大きいことは、筋がパワーを発揮する時間とボールに力を加える距離を伸ばし、大きなエネルギーがボールに与えられることに寄与すると報告している。本研究においても、ボールをゴールに到達できた被検者(RS)は肩関節の内転／外転運動、水平位内転／外転運動および内旋／外旋運動、手関節の橈屈／尺屈運動に大きなROMが認められた。特に肩関節の内転／外転運動、水平位内転／外転運動が顕著であり、大きな外転と水平位内転がボールに大きな運動エネルギーを加え、必要な初速度を与えたと推察される。

また、桜井ら¹⁰⁾は、投手の投動作における上肢の関節角度を三次元的な分析より算出したところ、上肢および上肢帯の諸筋が短縮に先立って伸長されるstretch-shortening cycleが出現し、投動作に弾性エネルギーの再利用が行われている可能性を示唆している。本研究でボールをゴールに到達できた被検者の手関節における背屈／掌屈運動においても、リリース前全般にわたって(0.265秒)最大59.8度まで背屈

を続け、その直後(リリース0.065秒前)急激に掌屈へと移行しリリースを迎えており、掌屈筋群における弾性エネルギーの再利用が行われた可能性がある。手関節の橈屈／尺屈運動においてもstretch-shortening cycleと類似した角度変化パターンが認められたが、ボールを到達できた被検者間でばらつきが大きく、個々の角度変化パターンは異なったため(図10)、橈屈／尺屈運動において弾性エネルギーが再利用されたか否かは判断できなかった。また同様に、肘関節の屈曲／伸展運動においてもstretch-shortening cycleを示唆する角度変化が見られたが、短縮前の伸長が10度程度の伸展で小さいと考えられること、被検者の頸損傷者は上腕三頭筋の萎縮が著しかったことから、弾性エネルギー再利用の可能性は低いと推察される。

さらに前述した手関節の橈屈／尺屈運動に加え、回内／回外運動(図11)においても個々で異なる角度変化パターンが認められた点は、個人の脊髄損傷部位の影響によってこれら運動が制限されたことに起因すると考えられる。同時に、橈屈／尺屈運動および回内／回外運動が特定の角度変化パターンを示さなかったにも関わらずボールをゴールに到達できたことから、これらの運動はボールが必要な初速度を得るために寄与しなかったと推察される。

5. 要 約

本研究は頸髄損傷者の車椅子バスケットボールシュート動作を三次元映画解析法を用いて定量化した。その結果、ボールをゴールに達するためには肩関節の内転／外転および水平位内転／外転運動において大きな関節可動域を得ること、手関節の背屈／掌屈運動において反動動作を行うことが有効であると示唆された。一方、手関節の橈屈／尺屈、回内／回外運動は、ボールがゴールに到達するため必要な初速度を得ることに寄与しないと考えられる。

引用・参考文献

- 1) Amussen, E. and F. Bond-Peterson. Apparent efficiency and storage of elastic energy in human muscles during exercise. *Acta. Physiol. Scand.* 92: 537-545, 1974.
- 2) Cavagna, G. A., et al. Effects of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle. *J. Appl. Physiol.* 20: 157-158, 1965.
- 3) Coutts, K. D. Dynamics of wheelchair basketball. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24: 231-234, 1992.
- 4) 橋本 勲ほか. 砲丸投げの投動作に及ぼす砲丸重量の影響. *Jpn. J. Sports Sci.* 13: 107-113, 1994.
- 5) Komi, P. and C. Bosco. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 10: 261-265, 1978.
- 6) Miller, S. A. & Bartlett, R. M. The effect of increased shooting distance in the basketball jump shot. *J. Sports Sci.* 11: 285-293, 1993.
- 7) 武藤 芳照、矢部 京之助. 障害者の医・科学. *Jpn. J. Sports Sci.* 15: 63-65, 1996.
- 8) 最勝寺 久和. 頸髄損傷者の体力とスポーツ. *Jpn. J. Sports Sci.*, 15: 119-123, 1996.
- 9) 桜井 伸二、池上 康男. フィルムデータの平滑化法について. *総合保健体育科学.* 8: 95-102, 1985.
- 10) 桜井 伸二ほか. 野球の投手の投動作の3次元動作解析. *体育学研究.* 35 (2): 143-156, 1990.
- 11) Shapiro, R. Direct linear transformation method for three-dimensional cinematography. *Research Quarterly.* 49: 197-205, 1978.
- 12) 田島 文博、緒方 甫. 脊髄損傷者における運動適応能. *Jpn. Rehabil. Med.* 31 (6): 424-429, 1994.
- 13) Uchida, A., et al. Tetraplegic wheelchair basketball. *Paraplegia.* 32: 59-62, 1994.
- 14) Winter, D. A. *Biomechanics of Human movement.* John Wiley & Sons, Inc (New York). 1979.
- 15) 吉福 康郎. 投げる一物体にパワーを注入する. *Jpn. J. Sports Sci.* 1: 85-90, 1982.

(1996年12月12日受付)