

平成26年度 共同利用・共同研究報告書

公立大学法人和歌山県立医科大学
みらい医療推進センター長 様

平成 27年 3月 31日

研究代表者(申請者)： 田 邊 智 
所属機関：大阪産業大学
職 名：教 授
連絡先(電話)：072-875-3001（内線 85531）
E-mail: satoru@spo.osaka-sandai.ac.jp

承認番号【2014-10号】の研究計画を終了しましたので以下のとおり報告いたします。

1. 研究名：車いすテニス選手のサーブ動作中の上肢関節運動について －障害別に見たサーブ動作の比較－
2. 期 間：平成27年2月18日 ～ 平成27年3月31日
3. 今年度の研究の実施状況（該当項目にチェックを入れてください） <input type="checkbox"/> 承認された研究計画書どおりに研究を実施した <input checked="" type="checkbox"/> 経過中、変更または追加研究計画の承認を受けて実施した 変更内容：研究計画では、被験者は男子車いすテニス選手としていたが、2名の女子車いすテニス選手を被験者に加えた。 変更理由：当初予定していた男性被験者が実験直前に体調不良のため実験に参加できなくなった。本研究の独創性は「数多く」の車いすテニス選手の動作を分析することである。また、テニスサーブ時の関節運動が男女間で大きな違いがないことから、実験計画どおりに男子選手にこだわって被験者数を減らすことよりも、女子選手を被験者に加えることの方が、本研究にとって重要であると考えたからである。
4. 参加者に対する危険又は不利益の発生状況（該当項目にチェックを入れてください） <input checked="" type="checkbox"/> 発生なし <input type="checkbox"/> 発生した 発生状況： 対応状況：

5. 利用した設備・資料・試料など

ハイスピードカメラ (Phantom Miro eX4)

利用機器の不具合などの発生状況

発生なし

発生した

発生状況:

対応状況:

6. 研究結果・研究成果の要約

【緒言】

近年、日本の障がい者スポーツの発展は著しく、パラリンピックをはじめとする各種スポーツの世界大会において、日本人選手の活躍が数多く報告されている。なかでも車いすテニスでは、世界ランキング1位の選手が男女ともに日本人であり、東京パラリンピックでの日本人の活躍が期待される。これまで車いすテニスに関するバイオメカニクスの研究報告は少なく、特にサーブ動作を分析した研究はReidほか(2007)と木村ほか(2012)の報告しかない。Reidほか(2007)は世界ランキング上位の車いすテニス選手2名を対象に実験を行ったが、被験者ふたりの障がいの部位はほとんど同じであり、またサーブ速度もさほど変わらなかった。木村ほか(2012)は8名の被験者を用いて実験を行ったが、被験者のレベルはReidほか(2007)の研究の被験者に比べ低かった。また、木村ほか(2012)は被験者の障がい部位がT3からL3まで様々であったが、すべての被験者のデータを平均化し、その平均データを使って考察している。

テニスにおいてサーブは攻撃の起点であり、車いすテニスにおいてもより攻撃的なサーブを打つことが試合を有利に展開するために要求される。攻撃的なサーブの要素としては、ボールの速度や、ボールの回転などが挙げられる。村田・藤井(2014)は健常者のテニス選手を対象にフラットサーブ、スライスサーブ、キックサーブを行かせた時の動作を分析し、球種の打ち分けはラケット速度ではなく、ラケットのスイング方向の違いによって行われていたと報告している。つまり、攻撃的なサーブを行うためには高いラケット速度を生み出す技術を習得することが重要であると考えられる。

ラケット速度の高い選手の共通的特徴を明らかにするためには、競技レベルの異なる数多くの車いすテニス選手の動作を分析する必要がある。また、車いすテニス選手の動作は障がいの部位によって異なることが考えられるため、様々な障がいをもつ車いすテニス選手の動作を分析し、障がいごとに動作を比較検討しなければならない。さらに、先行研究では健常者が立位姿勢でサーブを打った時の動作と車いすテニス選手の動作を比較しているが、車いすテニスでは座位姿勢でサーブを打つので、下肢に力が入らなかったり、打点が低くなったりする。そのため、本来は、健常者が車いすに乗ってサーブを打った時の動作と比較すべきであると考えられる。

そこで本研究では、車いすテニス選手が速いサーブを打つためのメカニズムを調べるために、次のことを明らかにしようとした。

1. 様々な障がいをもつ、競技レベルの異なる車いすテニス選手の動作を調べ、障がいごとのラケット速度の高い選手の特徴を明らかにする。
2. 健常者が車いすに座ってサーブした時の動作を分析し、車いすテニス選手の動作との違いを明らかにする。

【方 法】

被験者は世界ランキング 8 位の選手を含む国際大会および国内大会で活躍する男子車いすテニス選手 9 名と女子選手 2 名、一般のテニススクールに通う男子車いすテニス選手 5 名、そして健常者のコーチ 4 名であった（身長：1.65±0.16m、体質量：58.9±14.9kg、年齢：33.7±12.6 歳、競技歴：10.5±8.2 年）。被験者に十分なウォーミングアップを行わせた後、センターマークの左側からライトサーブコート中央をねらって、全力で速いサーブを打つよう指示した。また、健常者のコーチには車いすに座った状態からのサーブに加え、立位の姿勢から普段行っているサーブも打たせた。その時のサーブ動作を 2 台の高速度ビデオカメラ Phantom Miro eX4（Vision Research 社製）と 16 台の 3 次元動作分析装置 Venus3D（ノビテック社製）を用いて記録した（250fps）。Winter（2009）の残差分析を使って各ポイントの最適遮断周波数を求め、4 次の ButterWorth Digital Filter を使用して 3 次元座標を平滑した。本研究では、宮西ほか（1996）の方法を参考に、体幹、肩、肘、手首の関節角速度と各関節運動によって生み出されたラケット速度を計算した。

【結果と考察】

緒言でも述べたとおり、本研究では障がいごとのラケット速度の高い選手の特徴を明らかにするため、残存する機能が比較的近い被験者でグループ分けをし、そのグループ内でサーブ速度の高かった被験者と低かった被験者の関節運動の違いを調査する。つまり本報告書では、傷害部位が Th11 から L1 の被験者と二分脊椎の被験者で構成するグループについての結果を述べることにする。なお、平成 25 年度障害者スポーツ医科学研究拠点共同利用研究において分析した車いすテニスの世界ランキング 1 位の選手（以下、「SK 選手」とする）の傷害部位も Th11、12 であることから、今年度のデータに付け加えて考察する。

また、健常者のコーチが車いすに座ってサーブを打った時の動作と、コーチが立位姿勢から普段のサーブを打った時の動作および SK 選手の動作を分析することで、車いすテニス選手に見られる動作の特徴が障がいによるものなのか、それとも車いすに座ることによるものなのか、はたまた選手個人の特徴なのかを明らかにしようとする。

1. 傷害部位が T11 から L1 の被験者と二分脊椎の被験者で構成するグループ内での比較

このグループの被験者は全部で 9 名であった。被験者のインパクト時のラケット速度は 14.1～35.3m/s とラケット速度の高い選手から低い選手まで被験者のレベルの幅は広く、ラケット速度の高い選手の特徴を明らかにするのに適していると考えられる。なお、最も高いラケット速度を示したのは SK 選手で、後述する健常者のコーチが車いすに座ってサーブを打った時のラケット速度と比べても、その値は大きかった。

インパクト時に高い角速度を示した関節運動は肩関節の内旋と手関節の掌屈であった。そこでインパクト時のラケット速度と内旋角速度および掌屈角速度との相関関係を調べたところ、インパク

ト時のラケット速度の高い選手ほど内旋角速度 ($r = 0.862, p < 0.01$) および掌屈角速度 ($r = 0.873, p < 0.01$) が有意に高く (図 1)、また、内旋 ($r = 0.912, p < 0.001$) および掌屈動作 ($r = 0.754, p < 0.05$) によって生み出されたラケット速度も有意に大きかった (図 2)。この結果は健常者のサーブ動作を分析した先行研究 (Tanabe and Ito, 2007) と同じであり、このグループと同等の傷害をもつ選手にサーブ時のラケット速度を高めさせようとする際には、内旋および掌屈角速度を高める指導をすべきであることを示唆している。

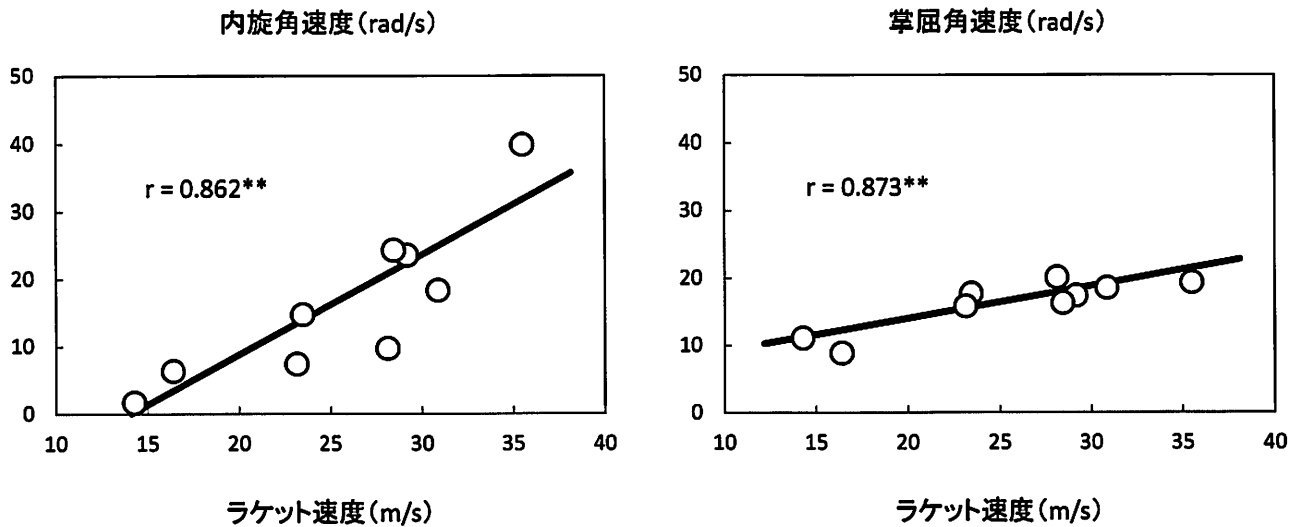


図 1. インパクト時のラケット速度と内旋および掌屈角速度との関係 $** p < 0.01$

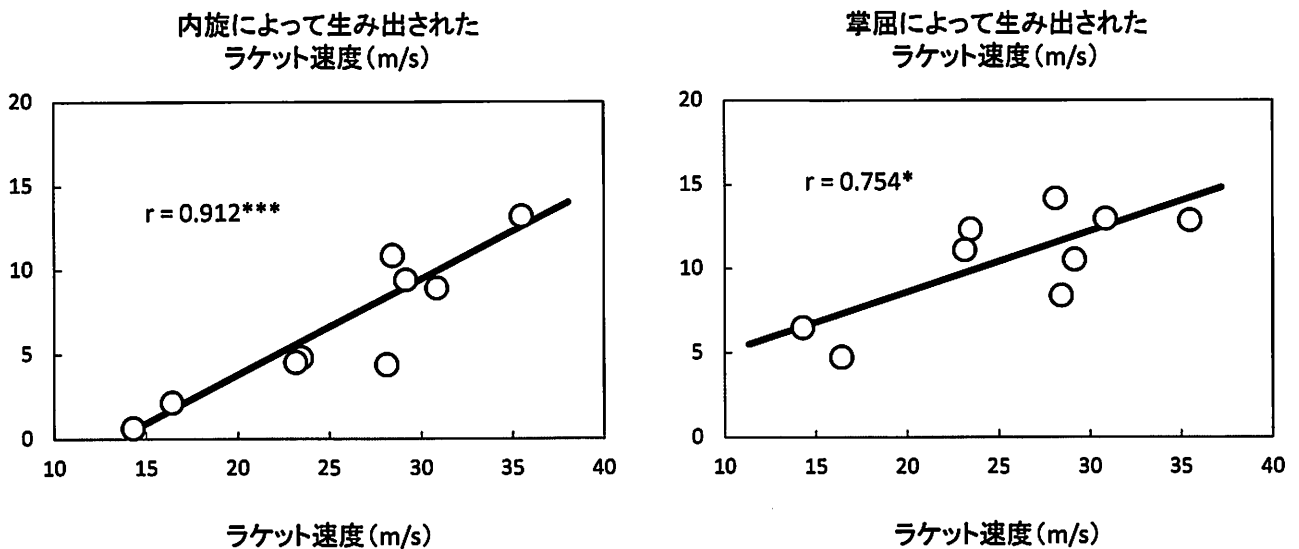


図 2. インパクト時のラケット速度と内旋および掌屈動作によって生み出されたラケット速度との関係 $*** p < 0.001$ $* p < 0.05$

テニスのサーブでは、特に内旋動作が重要であると報告されているが (Tanabe and Ito, 2007 ; 田邊と伊藤, 2008)、ラケット速度の低かった車いすテニス選手がなぜ内旋動作を使ったサーブを打て

なかったということについて、次のような理由が考えられた。つまり、ラケット速度の低かった選手はサーブ動作のかなり早い段階から車いすごと身体の正面を打球方向へ向け、肩関節の水平内転を使って肘を前方へ突き出していたのである。この状態から内旋させてボールを打つと、ボールは横へ飛んでいってしまう。そこで、ラケット速度の低い選手は肘関節を屈曲させながら ($r = 0.876$, $p < 0.01$)、肩関節の伸展動作を使って ($r = -0.816$, $p < 0.01$)、ラケットを加速させていたことが考えられた (図 3)。したがって、ラケット速度の小さかった被験者には、インパクト直前まで車いすの動きも含めた体幹の左回旋および水平内転動作を抑え、内旋を使いやすい状態にすることが重要であると示唆される。

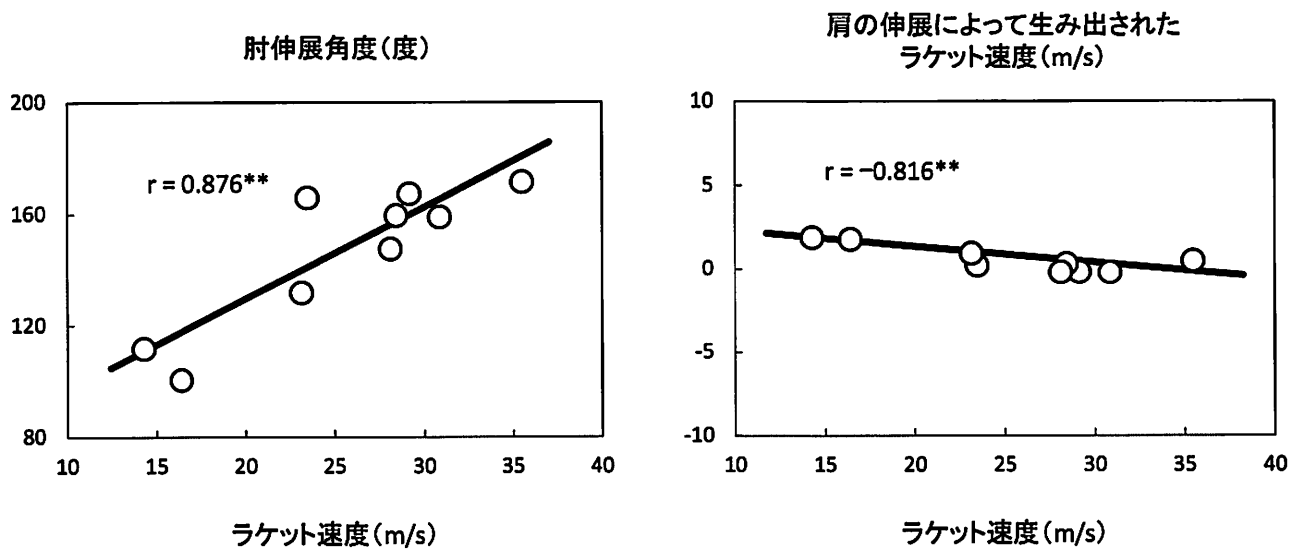


図 3. インパクト時のラケット速度と肘伸展角度および肩の伸展動作によって生み出されたラケット速度との関係 $** p < 0.01$

2. 健常者のコーチの車いすに座ってサーブを打った時の動作と、健常者のコーチが立位姿勢から普段のサーブを打った時の動作および SK 選手の動作の比較

健常者のコーチが立位姿勢から普段のサーブを打った時のラケット速度の平均値は $41.0 \pm 1.8\text{m/s}$ 、車いすに座ってサーブを打った時のラケット速度の平均値は $33.4 \pm 1.7\text{m/s}$ と、立位時よりも座位時の方が有意にラケット速度は小さかった ($p < 0.05$)。このラケット速度が低下した原因を調べるため、体幹および上肢関節運動によって生み出されたラケット速度について計算したところ、立位時よりも座位時の方が体幹の前屈および左回旋動作によって生み出されたラケット速度が顕著に減少しており (図 4、体幹の前屈: 3.4m/s の減少; 左回旋: 1.9m/s の減少; 内旋: 4.3m/s の減少)、車いすに座るだけで体幹の動きが抑制され、ラケット速度が低下することが分かった。また、内旋動作によって生み出されたラケット速度も立位時よりも座位時の方が小さかったが、車いすに座ると何故、内旋角速度が低下するのか、その原因については分からなかった。

健常者が車いすに座ってサーブを打った時と、SK 選手との比較では、インパクト時のラケット速度は前述したとおり、SK 選手のラケット速度の方が 1.9m/s 高かった。その大きな原因として、体幹の左回旋動作によって生み出されたラケット速度が健常者の座位時で 0.3m/s であったのに対し、SK 選手では 4.7m/s と、 4.4m/s も高かったことが挙げられる。つまり、SK 選手は車いす上で体幹

の動きが制限されている中、何とかラケット速度を高めようと、車いす自体の動きも含めて左回旋方向への運動を生み出し、ラケットを加速させようとしていたことが考えられる。

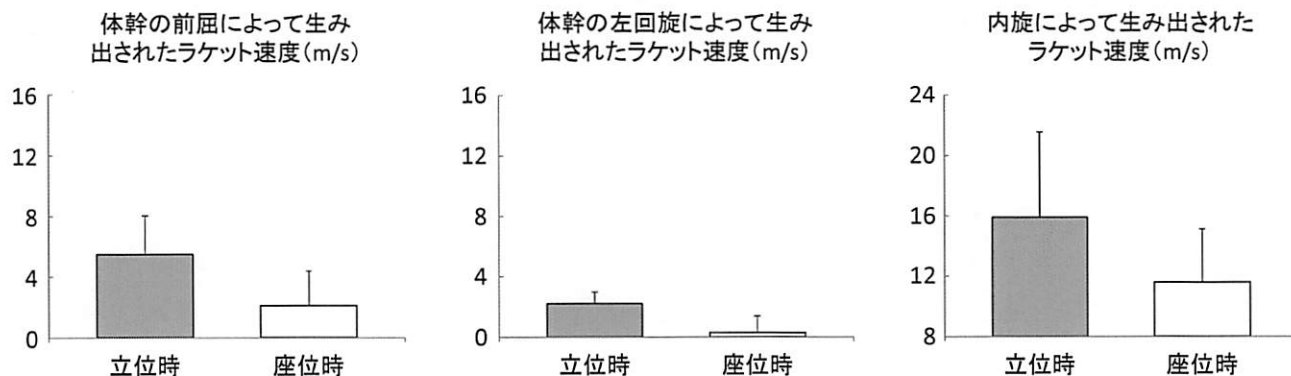


図 4. 健常者のコーチの立位時および座位時に体幹の前屈と左回旋および内旋動作によって生み出されたインパクト時のラケット速度

また、内旋角速度については健常者の座位時の平均値が $25.9 \pm 7.2 \text{ rad/s}$ であったのに対し、SK 選手の内旋角速度は 40.4 rad/s と、非常に高い値を示した。しかし、内旋動作によって生み出されたラケット速度の平均値は健常者の座位時で $11.6 \pm 3.6 \text{ m/s}$ であったが、SK 選手では 13.4 m/s と、角速度の違いの割にラケット速度の差は小さかった。その原因としては、昨年度も示したとおり、SK 選手のインパクト時の肘の伸展角度が 172.7 度と大きく、内旋角速度を効果的にラケット速度へ変換することができなかったからであると考えられる (Tanabe and Ito, 2007)。昨年度の報告では、車いすに座ってサーブを打つと打点が低くなるため、少しでも高いところで打とうとして、肘が伸展したと考察した。しかし、健常者の立位時と座位時の肘の伸展角度を比較したところ、立位時で 159.4 ± 3.2 度、座位時で 162.6 ± 2.5 度と座位時の方が高い値を示したものの、その差はわずかに 3 度で、それによって打点が大きく変わるとは考えがたい。したがって、SK 選手が肘を伸ばしてサーブを打っていたのは SK 選手個人の特徴であり、SK 選手がラケット速度をさらに高めようとするならば、もう少し肘を屈曲させながらサーブを打つと良いことが示唆された。

7. 本研究に関する学会、論文などの発表実績 (拠点事業経費による研究であることが謝辞に示されている論文には*印を付けてください)

学会発表

今年 8 月に行われる「日本体育学会第 66 回大会」で発表を予定している。

論文発表

「体育学研究」または「大阪体育学研究」への投稿を予定している。

8. その他に報告すべき事項がある場合は記入してください。