

課題に対する捉え方の違いが身体運動に与える影響

Effects of subjective task criteria on objective task performance

畑野 圭佑[†], 阪口 豊[†]
Keisuke Hatano, Yutaka Sakaguchi

[†]電気通信大学
University of Electro-Communications
k.hatano@uec.ac.jp

概要

運動者が課題内容を主観的にどのように捉えるか（主観的運動規範）が課題遂行中の身体運動に与える影響を明らかにするために「まるで〇〇であるかのように感じながら身体を動かす」という「仮想的身体知覚に基づく教示方法」の下で行った動作を光学式モーションキャプチャ装置により計測し、解析を行った。右上肢のリーチング課題において、「手先経路が直線になるように動かす」場合と「まるで自分の手が上から引かれているように感じながら動かす」場合における手先軌道、関節軌道、筋活動を解析したところ、2つの条件ではほぼ同様の手先直線性が得られた一方で、身体運動のキネマティクスやダイナミクスには違いが生じることが明らかになった。

キーワード：運動制御，主観的感覚，課題規範，OpenSim

1. はじめに

1.1. 運動者の主観と運動の関係

運動技能を獲得する状況や優れたパフォーマンスを発揮する必要がある状況において、運動者の主観的感覚は大きな役割を果たしている。運動者は、固有受容器等から得られた体性感覚情報に基づき身体の姿勢や動きを認識する一方（ボディ・イメージ）、周囲の環境から得られた視覚・聴覚・触覚情報に基づいて自分と環境の関係性を認識し、それに基づいて身体の使い方を調整している。このように、随意運動において、身体の状態や使い方を内的に観察する認知的活動が果たす役割は大きい。

運動者の主観的感覚が運動学習に有効である例として、身体の使い方や身体感覚を想起するイメージトレーニングがある。運動イメージ(motor imagery)を想起することが、リハビリテーションやスポーツにおいて有効であるという研究報告は数多く存在する[1-3]。

また、運動者の注意の働きと運動パフォーマンスの関連については、Wulfらによる外的焦点（external focus：動作が及ぼす身体外部の環境に意識を向けること）と内的

焦点（internal focus：動作を行う身体そのものに注意を向けること）の研究で詳しく検討されている[4]。彼女は、運動学習および運動パフォーマンスに関わる幾多の課題において、内的焦点に対する外的焦点の優位性を示した。

このように、随意運動における主観的感覚の影響は実験的研究により明らかにされてきた。本研究では、筆者が「仮想的身体知覚」と名付けた感覚に着目し、この身体知覚に基づいて運動課題を実行することが運動パフォーマンスに与える影響を行動実験により明らかにする。

1.2. 仮想的身体知覚

スポーツやダンス、楽器演奏などの指導現場では、「まるで〇〇であるかのように感じながら身体を動かさない」という教示がなされることがある。例えば、クラシックバレエのレッスンでは「まるで胸が天井からひもで吊られているかのように感じながら立ちなさい」という指導が行われる。このような指導の目的は身体を望ましい状態にすることにあるはずであるが、その望ましい状態を直接指示するのではなく、ひもで吊り下げられているという仮想的な状態を想像させることで結果的に姿勢を望ましい状態に導こうとしている点が興味深い。このような、身体の使い方を直接的に指示しない教示方法は、経験的に、優れたパフォーマンスを実現するうえで効果的であることが多く、様々な場面で用いられている。このような指示を受けた運動者は、仮想的な状況を主観的にイメージし、そのような状況で感じるであろう身体知覚を実現する動きを行うと考えられる。本研究は、このような指示が運動者の運動パフォーマンスに与える影響を実験的に明らかにする。具体的には、運動課題の規範を直接的に指示する条件と、仮想的身体知覚に基づく教示を与える条件において、それぞれ身体運動をモーションキャプチャにより測定し、それらの違いを分析した。

2. 実験方法

2.1. 被験者・装置

実験には、電気通信大学所属の20代の健常な成人男性5名が参加した。本実験は、電気通信大学の「ヒトを対象とする実験に関する倫理委員会」の承認を受けている。被験者の頸椎(C7)から手先(右手示指のPIP関節)にかけて右上肢計12箇所反射マーカを取り付け、動作をモーションキャプチャ装置(OptiTrack, Prime136台)によって計測した(サンプリング周波数120Hz)。

2.2. 実験課題と条件

課題の内容を図1に示す。被験者の課題は、椅子に座り水平に張られたひも上に印された始点(下側)から終点(上側)に到達することである。運動始点は、被験者が椅子に座りひざの上に軽く手を載せたときの示指のPIP関節の位置に設定した。また、上側の紐は被験者の眼球と同じ高さに配置した。

実験条件として以下の3条件を設定し、それぞれ40試行の測定を行った。

[統制条件]：特定の指示を与えない。

[直接的指示条件]：「手の動きがまっすぐで前後左右にぶれないようにしてください」という指示を与える。

[仮想的指示条件]：「まるで手を持たれて真上から引っ張られているかのように感じながら手を動かしてください」という指示を与える。

2.3. OpenSim

本研究では、モーションキャプチャで得られた身体軌道データを、筋骨格力学モデルの一つであるOpenSimを用いて解析した[5]。OpenSimは、身体軌道データから逆運動学計算によって被験者の体格に合わせたスケールリングや関節角度の推定ができるほか、筋収縮モデルを用いた計算により筋活動量が推定できるオープンソフトウェアである。本実験では、このソフトウェアを用いて計算した関節角度と筋活動量についても条件間で比較を行った。今回の解析に用いたモデルは、胸骨と右腕からなる7関節50筋モデル(MoBL-ARMS Model)である[6]。

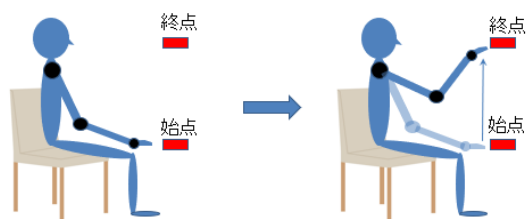


図1 実験の様子

3. 実験結果

3.1. 手先軌道の直線性

まず、モーションキャプチャでの計測により得られた各条件における手先の軌道の特性について分析した。

図2はそれぞれの被験者における3条件での手先軌道を(40試行のうち21試行目から30試行目までの10試行について表したものである。図のx軸は被験者の前後方向を表しx軸正の向きが前方向を表す。また、y軸は上下方向を表し、y軸正の向きは上方向を表す。なお、この図ではx軸方向の変化をわかりやすく示すために、x軸方向を拡大して表示している。

手先軌道の直線性を比較するために、下式によって提示される評価関数を設定した。

$$F = \sum_{n=1}^N \frac{\sqrt{(x_0 - x_n)^2 + (z_0 - z_n)^2}}{N} \quad (1)$$

ここで、xは前後方向、zは左右方向の位置を表す。(x₀, z₀)は始点および終点の水平面内位置、(x_n, z_n)は時刻nにおける手先の水平面内位置、Nは計測時刻数である。この関数は、実際の軌道と始点・終点間の直線軌道との水平誤差を運動時間全体について平均したものであり、値が小さければより直線的であることを示す。

図3は、各条件40試行分の評価値Fの試行間平均を被験者ごとに示したものである。この結果より、統制条件に比べて直接的指示・仮想的指示条件において手先軌道がより直線的であることがわかる。このことは、仮想的指示条件では、手首を直線的に動かすことを明示的に指示していないにも関わらず、直接的指示と同様の手先の直線性をもたらすことを意味している。なお、評価値Fについて分散分析を行ったところ、条件間に有意な差があることが示された。

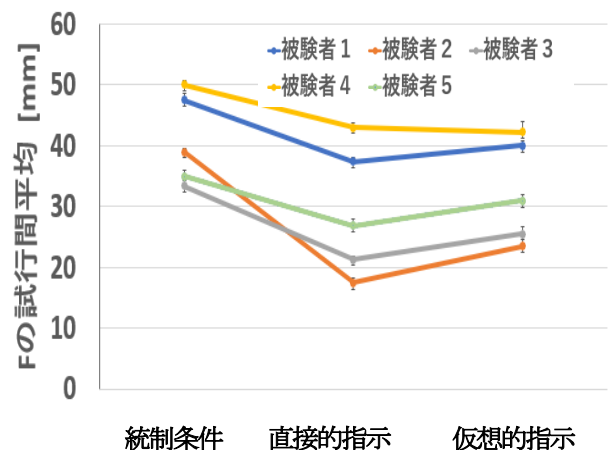


図3 手先起動の直線性の比較

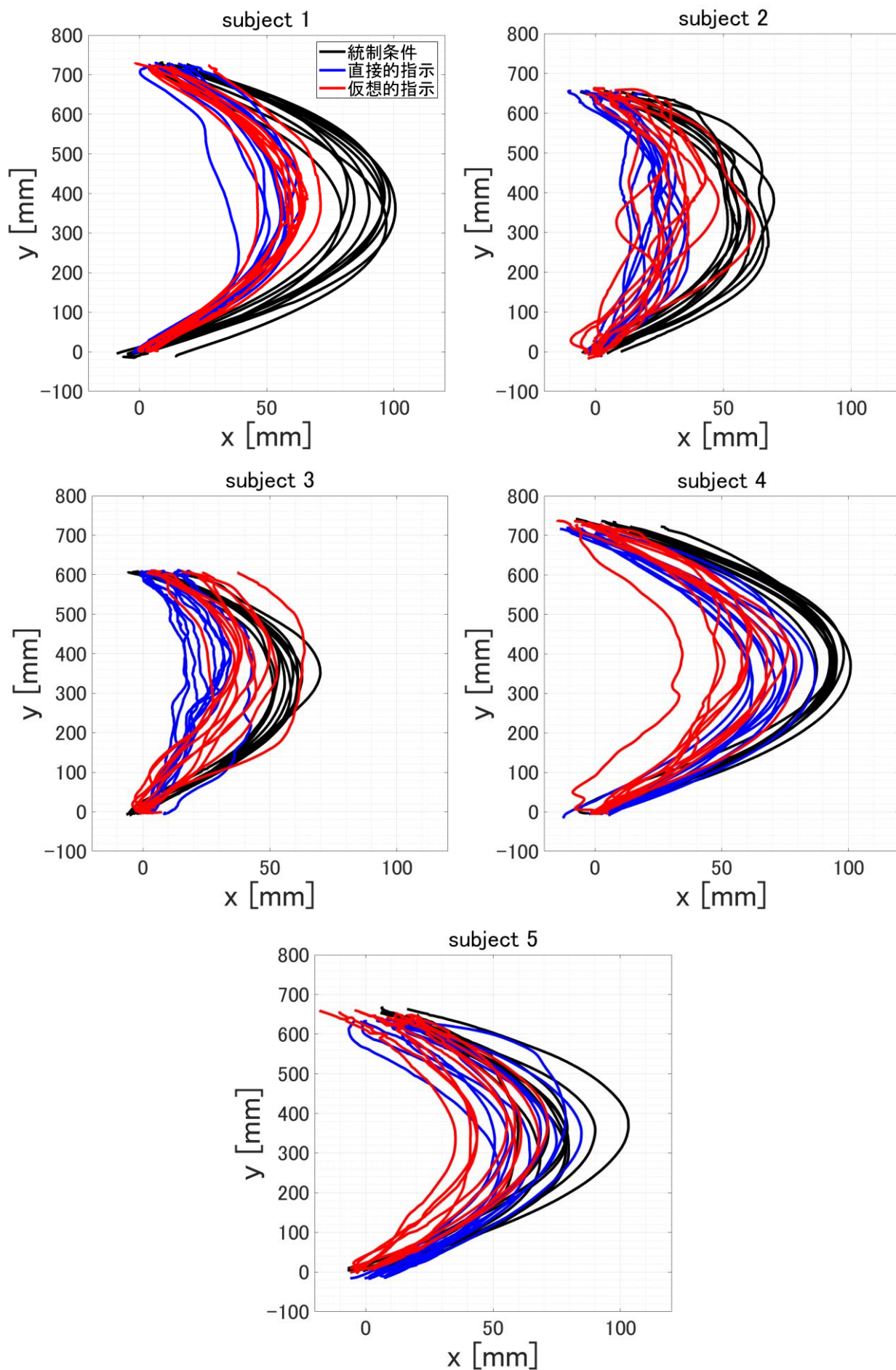


図 2 被験者ごとの手先軌道を水平面上に投影した軌跡

3.2. 上腕の使い方の違い

図4は、OpenSimのInverse Kinematics ツールを用いて推定した、肩関節の外転角度の時間変化を表したもので、被験者3名について3条件それぞれ2試行分の結果を示している。縦軸の値が大きいほど肩関節が外転していることを示している。

また、図5は、手関節の屈曲伸展の方向の関節角度の時間変化を表したもので、被験者3名について各条件における2試行分のデータを示している。関節角度が大きいほど手首が屈曲していることを示している。

これらの図より、仮想的指示条件では他の2条件と比較して、肩関節の外転が大きくなる（つまり、肘を横方向に上げる）傾向や、手首が屈曲する傾向が読み取れる。このことは、直接的指示、仮想的指示の2条件ではいずれも直線的な手先軌道が実現されている一方で、上肢関節の使い方が大きく異なることを示している。

3.3. 筋活動

図6は、OpenSimのComputed Muscle Control ツールを用いて推定した被験者1名の1試行分における三角筋の活動量の時間変化である[7]。

この図より、統制条件、直接的指示条件と比較して仮想的指示条件では、三角筋（特に中部）の筋活動量が大きくなっていることがわかる。三角筋中部は肩の外転に関わる筋であることから、この結果は、仮想的指示条件において肩の外転が大きいことを反映した結果であると考えられる。

4. 考察

本実験の結果、上下方向の上肢到達運動において、仮想的指示条件では、直接的指示条件と同等の直線的な手先軌道が実現される一方、上肢運動のキネマティクスやダイナミクスに違いが生じることが明らかになった。このように、「手を上から引き上げられる」という仮想的身体知覚を感じながら到達運動を実行することにより、直接的に教示されなくても直線軌道が達成されたことから、仮想的身体知覚による教示の有効性を実験室内で検証することができた。また、上肢運動のキネマティクス・ダイナミクスを直接的指示条件と仮想的指示条件の比較した結果から、運動成績（手先軌道の直線性）は同様であっても、課題の主観的捉え方の違いによって課題を遂行する際の身体の使い方が異なることが明らかになった。今回の結果だけでは、直接的指示と仮想的指示のいずれの条件での身体の使い方が「望ましい」かは判断できないが、

少なくとも、仮想的身体知覚による教示によって、直接的指示では達成できない身体の使い方を引き出すことができたといえる。特に、2つの条件のいずれにおいても被験者が手の動きに注意を向けていたにもかかわらず、両者のあいだに大きな差が表れたのは（注意を向けた手ではなく）肩関節の使い方であったことは、教示の違いが、注意を向けた箇所限定されない身体運動全体の違いをもたらしたことを示しており、重要な知見であるといえる。

本研究ではまた、筋骨格系モデルであるOpenSimを用いたキネマティクス・ダイナミクス解析を行った。しかし、このモデルを用いた解析においては解の不安定から意味のある解析結果を得ることができないケースも多く、実験で得られたデータのうち多くに対しては十分な解析ができなかった。この問題の原因は、本研究で採用した上肢モデルの制約、また、シミュレーション時に設定した種々のパラメータの調整不足にあると考えられ、今後さらなる調整や検討が必要である。なお、課題遂行中の筋活動の違いについては、表面電極等を用いて筋電図を測定することにより、筋骨格モデルに頼らず直接的に検証することも可能である。今後の検討事項としたい。

文献

- [1] Philip L. Jackson, Martin F. Laflour, Francine Malouin, Carol Richards, Julien Doyon, (2001) "Potential Role of Mental Practice Using Motor Imagery in Neurologic Rehabilitation", Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, Vol. 82, No. 8, PP. 1133-1141.
- [2] Ruth Dickstein, Ayelet Dunskey, Emanuel Marcovitz, (2004) "Motor imagery for gait rehabilitation in post-stroke hemiparesis", Physical Therapy, Vol. 84, No. 12, pp. 1167-1177.
- [3] Nobuaki Mizuguchi, Hiroki Nakata, Yusuke Uchida, Kazuyuki Kanosue, (2012) "Motor imagery and sport performance", The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine, Vol. 1, No. 1, pp. 103-111.
- [4] Gabriele Wulf, (2013) "Attentional focus and motor learning: A review of 15 years", International Review of Sport and Exercise Psychology, Vol. 6, No. 1, pp. 77-104.
- [5] Scott L. Delp, Frank C. Anderson, Allison S. Arnold, Peter Loan, Ayman W. Habib, Chand T. John, Eran Guendelman, Darryl G. Thelen, (2007) "OpenSim: open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 54, No. 11, pp. 1940-1950.
- [6] Katherine R. Saul, Xiao Hu, Craig M. Goehler, Meghan E. Vidt, Melissa Daly, Anca Velisar, Wendy M. Murray, (2015) "Benchmarking of dynamic simulation predictions in two software platforms using an upper limb musculoskeletal model", Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, Vol. 18, No. 13, pp. 1445-58.
- [7] Darryl G. Thelen, Frank C. Anderson, (2014) "Using computed muscle control to generate forward dynamic simulations of human walking from experimental data", Journal of Biomechanics, Vol. 39, No. 6, pp. 1107-1115.

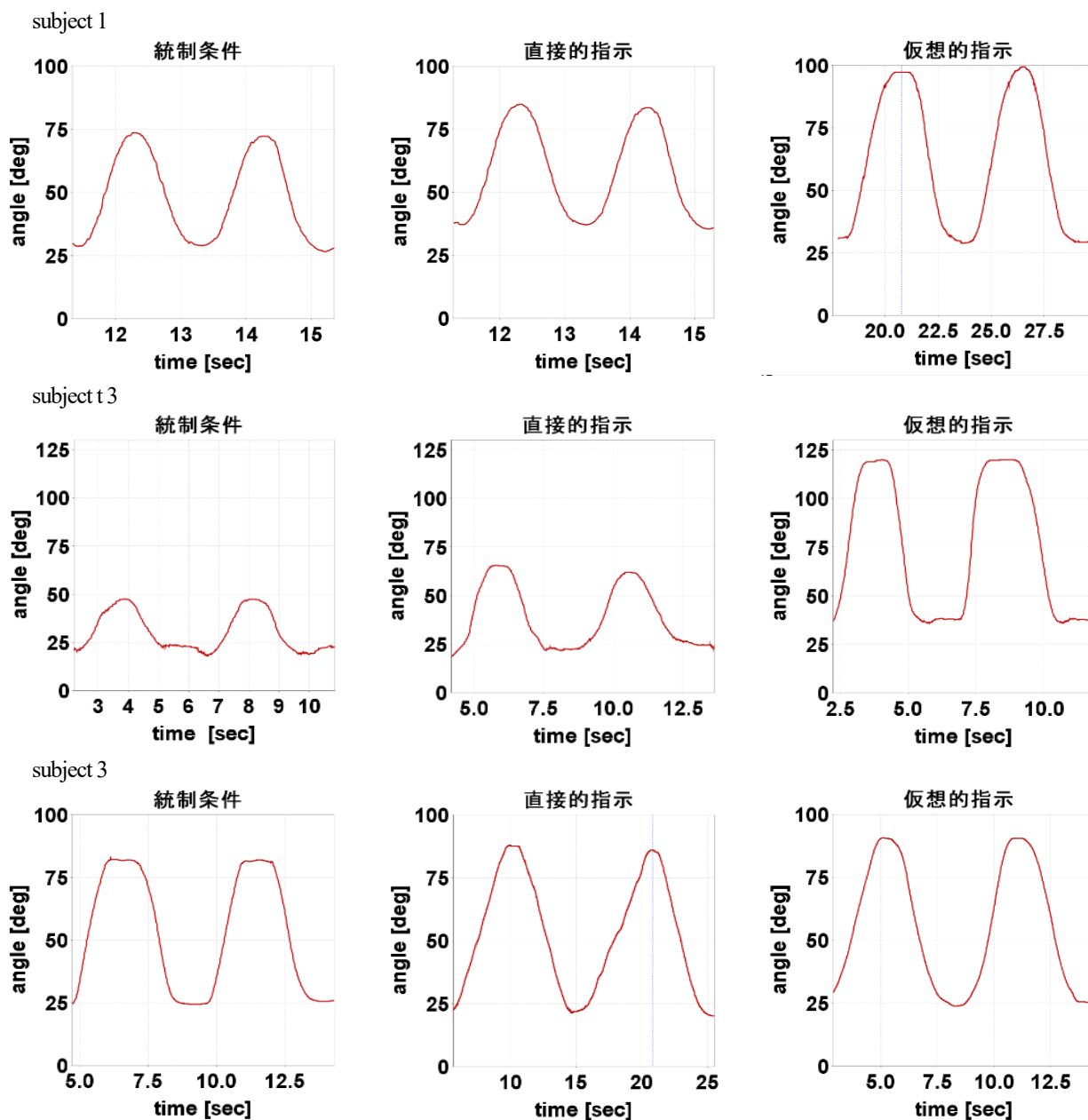


図 4 被験者ごとの肩の外転角度[°]

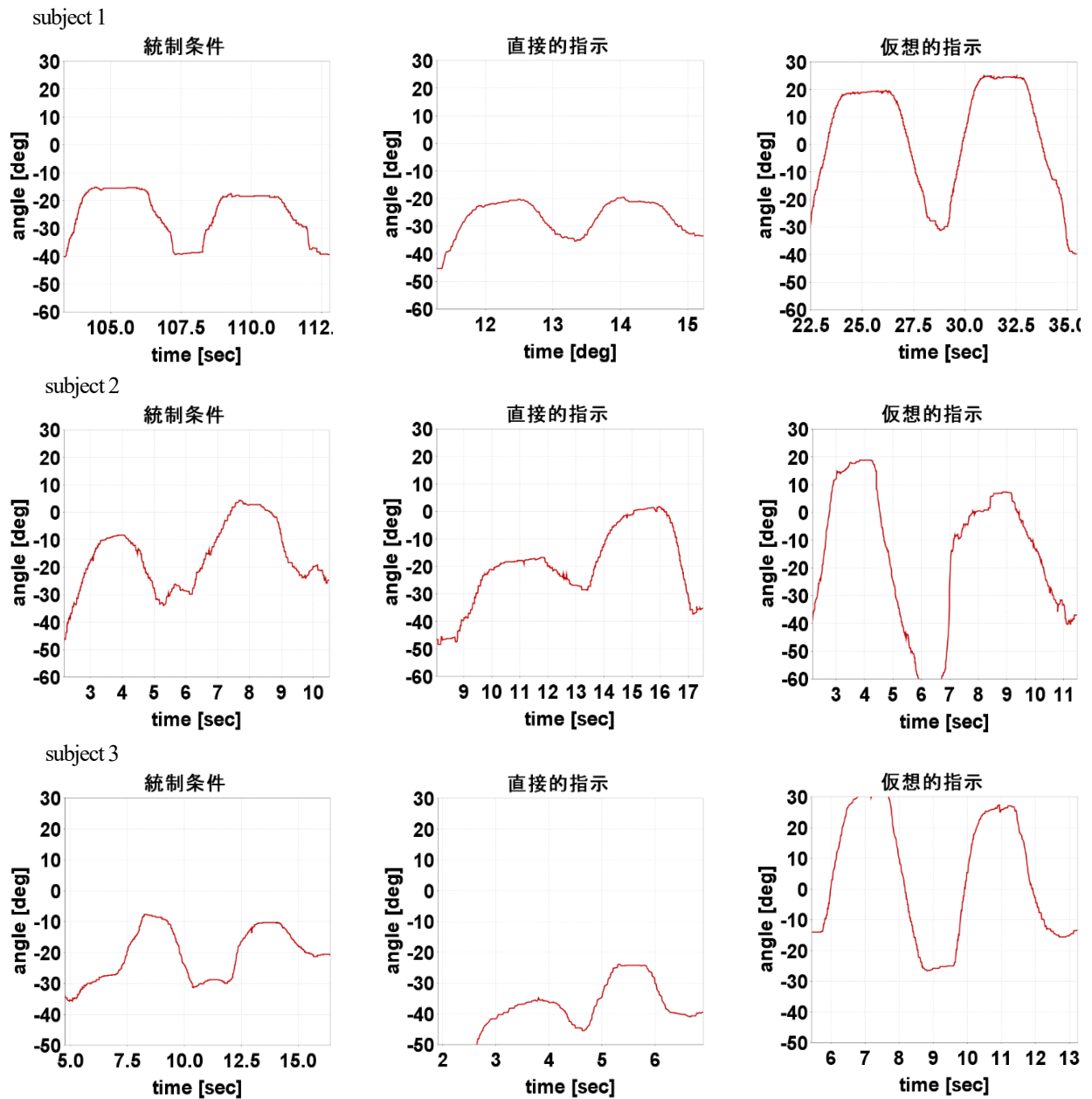


図 5 被験者ごとの手首の屈曲角度 [°]

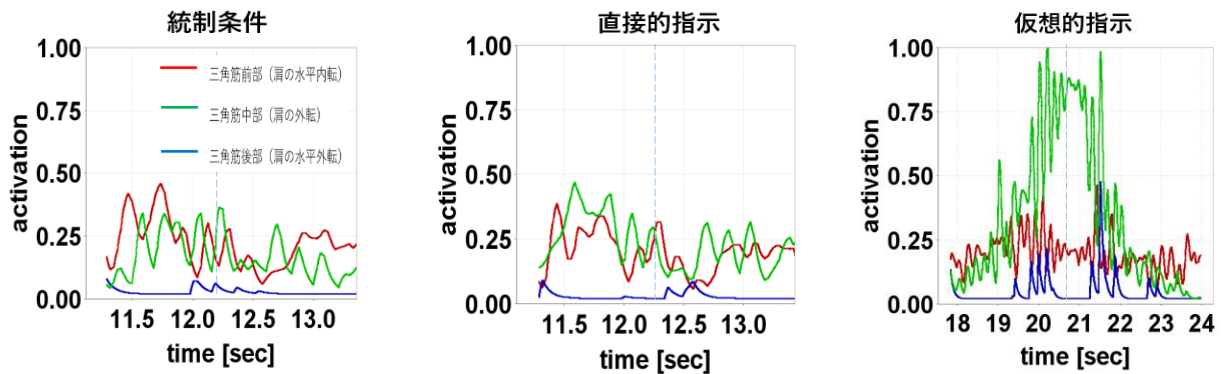


図 6 三角筋の筋活動量