

運動負荷刺激が肩関節における認知機能に及ぼす影響

上野 麻実¹⁾, 田中 瑠美¹⁾, 垣村 将典²⁾, 松本 渉²⁾,
富田 健一^{2) 3)}, 木村 篤史^{2) 3)}, 松本 和久^{2) 3)}, 山崎 立実³⁾

¹⁾ 明治国際医療大学 保健医療学部 柔道整復学科

²⁾ 明治国際医療大学附属病院 総合リハビリテーションセンター

³⁾ 明治国際医療大学 保健医療学部 臨床柔道整復学Ⅲユニット

要旨:

【はじめに】

運動学習には、体性感覚情報や視覚情報などの様々な情報の統合が必要である。今回は、肩関節運動における体性感覚の情報源の一つである大円筋と広背筋に運動負荷を行い、感覚情報を変化させ、その変化が肩関節運動に与える影響を調査した。

【対象】

健康成人男性3名・女性2名、平均年齢23.0 ± 1.6歳、平均身長168.4 ± 8.0cm、平均体重57.0 ± 7.3kgを対象とした。

【方法】

ベッドから上肢を下垂した腹臥位で、規定した三角形を中指でなぞる運動を、視覚と体性感覚を用いた動作（通常動作）、視覚を除き体性感覚のみでの動作（体性感覚動作）、視覚を除き体性感覚に外乱刺激を加えた動作（外乱動作）の条件で行い、その運動を三次元動作解析装置にて測定し、解析用ソフトウェアを用いて、通常動作時、体性感覚動作時、外乱動作時の三角形の重心の移動距離（重心軌跡長）、マーカーを貼付した三角形からの傾き（傾き平均）、指の移動距離（総軌跡長平均）を求めた。外乱刺激は、大円筋と広背筋に対して腹臥位で肩関節外転90度、内外旋中間位、肘関節屈曲90度の肢位から、1kgの鉄アレイを把持した状態で、肩関節内旋運動を50回連続で行うこととした。

統計学的処理は、統計処理ソフトSPSS ver.11 for Windows を用いて一元配置分散分析を行い、有意水準は5%とした。

【結果】

それぞれの平均値と標準偏差を記す。総軌跡長は通常動作時93.1 ± 6.6cm、体性感覚動作時97.5 ± 12.0cm、外乱動作時108.0 ± 12.0cmで、通常動作時と外乱動作時の間に有意差を認めた。傾きは、通常動作2.2 ± 0.2、体性感覚動作時3.0 ± 1.7、外乱動作時2.2 ± 2.0、重心軌跡長は、通常動作時6.4 ± 1.0cm、体性感覚動作時9.0 ± 0.8cm、外乱動作時10.0 ± 2.3cmであり、有意差は認めなかった。

【考察】

大円筋と広背筋に負荷を加えることで体性感覚情報を乱し、視覚情報を与えない条件での肩関節運動は、体性感覚と視覚情報を用いたものより、総軌跡長が有意に延長したことから、肩関節疾患症例では体性感覚による運動制御ができないため、運動様式に変化が生じると考えられる。従って、在宅リハビリテーションの対象者やその介護者の肩関節疾患に対する治療を行う際には、正確な体性感覚を再構築する必要があると考えられた。

【はじめに】

在宅リハビリテーションの対象者やその介護者が疼痛を伴う肩関節疾患を罹患することは多く、運動療法や物理療法などの保存的治療を受けている事例は多い。

肩関節は自由上肢骨と体幹とを接合する関節であり、上肢の中で最も近位に位置する。その運動制御には視覚情報や体性感覚情報などの様々な情報の統合が必要であり、ニコライ A ベルンシュタインは、上肢で目的を持った行為を遂行する際は、肩関節の運動制御は無意識下にて行われている¹⁾。

MaturanaやVarelaによって提唱された「オートポイエーシス理論」では「感覚入力と運動出力の区別がない」とされ、すべての行為は認知であり、すべての認知は行為であると考えられ²⁾、行為と認知は大きく関係している。つまり、適切な行為が遂行されるためには、適切な運動の認知が必要であるが、無意識下で制御されているとされる肩関節において、体性感覚入力の変化が関節運動の認知に影響を及ぼすことが推測されるが、過去にそのような報告はない。

そこで今回は、肩関節を対象に、視覚と体性感覚によって三角形の軌道を指でなぞる運動を認知

した後、肩関節運動における体性感覚の情報源の一つである大円筋と広背筋に運動負荷を加え、体性感覚の入力情報を変化させ、その変化が肩関節運動の認知に与える影響について検証することを目的に本研究を実施した。

【対象】

上肢に自覚症状を有さない健康男性3名及び健康女性2名を被験者とした。被験者の平均年齢は23.0 ± 1.6歳、平均身長は168.4 ± 8.0cm、平均体重は57.0 ± 7.3 kgであった。

被験者に対して、研究の主旨及び研究によって発生する危険性を十分に説明し、同意を得た上で本研究を実施した。また、本研究は、明治国際医療大学研究倫理委員会にて承認を受けた上で実施した（承認番号20-12）。

【方法】

被験者に対して、左右後頭隆起、左右肩峰、第7頸椎棘突起、左右上後腸骨棘、右中指先端に両面テープを用いて直径1cmの反射マーカ―を貼付

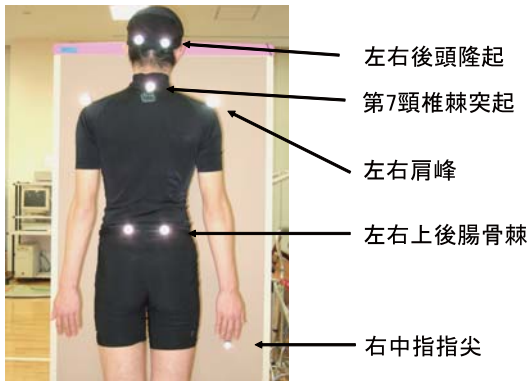


図1 反射マーカ―の貼付位置

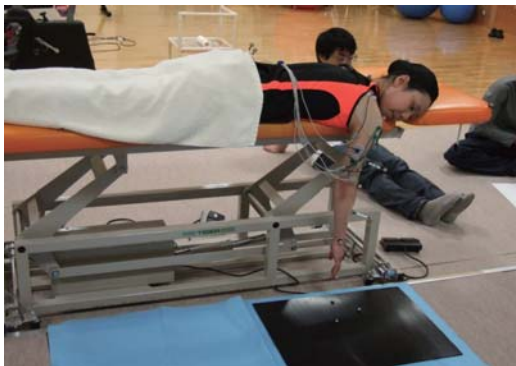


図2 実験の様子

被験者は、ベッド上で腹臥位にて右肩関節から遠位をベッド端の外側に下垂した状態をとらせた。床には一辺10 cmの正三角形の各頂点部に、直径1 cmの反射マーカ―を貼付したボードを設置した。その正三角形（基準三角形）の頂点に貼付した反射マーカ―と被験者の右中指先端との距離が10cm以内になるようにベッド高を調整した。

した（図1）後、ベッド上で腹臥位をとり右肩関節から遠位をベッド端の外側に下垂した状態をとらせた。床には一辺10 cmの正三角形の各頂点部に、直径1 cmの反射マーカ―を貼付したボードを設置した。その正三角形（以下、基準三角形とする）の頂点に貼付した反射マーカ―と被験者の右中指先端との距離が10cm以内になるようにベッド高を調整した（図2）。

被験者は、上記の肢位を開始肢位として、床に設置された「基準三角形上」を右中指で時計周りになぞる運動課題を遂行した（図3）。運動課題の遂行は、被験者が床上の基準三角形を見ながらなぞる「視覚と体性感覚を用いた動作（通常動作）」、床を見ずに床上の基準三角形をなぞる「視覚を除き体性感覚のみでの動作（体性感覚動作）」、肩関節に関与する筋として大円筋と広背筋に対して運動負荷を与えた後、床を見ずに床上の基準三角形をなぞる「視覚を除き体性感覚に外乱刺激を加えた動作（外乱動作）」の3つの条件で行った。

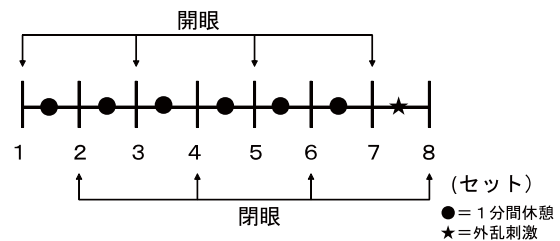
外乱刺激は、腹臥位で肩関節外転90度、内外旋中間位、肘関節屈曲90度の肢位から、1 kgの鉄アレイを把持した状態で、肩関節内旋運動を50回連続で行うこととした。

実験の手順は、床上の基準三角形を5周なぞら



図3 運動課題

床上に設置した基準三角形を時計回りに5周なぞる運動を行った。



1, 3, 5, 7セット目: 通常動作
2, 4, 6セット目: 体性感覚動作
8セット目: 外乱動作

図4 実験の手順

各セット間は1分間の安静をとらせ、7セット目終了後に外乱刺激を加えた。

せることを1セットとして、合計8セット行った。1, 3, 5, 7セット目は「通常動作」にて行い、2, 4, 6セット目は「体性感覚動作」にて行った。各セット間は1分間の安静をとらせた。7セット目終了後に外乱刺激を加え、8セット目は「外乱動作」にて行った(図4)。

これらの運動課題を実施している際の、各動作時の反射マーカの位置を三次元動作解析装置VICON 512 (Oxford Metrics社製)を用いて測定した。その結果を解析用プログラミングソフトウェアWork station4.5 (Oxford Metrics社製)を用いて床上の基準三角形の座標、及び右中指の座標を求め、なぞった三角形の指の移動距離(総軌跡長平均)、重心の移動距離(重心軌跡長)、マーカを貼付した三角形からの傾き(傾き平均)、を求めた。以下にそれぞれについて詳しく説明する。

総軌跡長平均：セットごとに右中指でなぞって得られた5個の三角形の軌跡の軌跡長の総和を求め、5回の平均値を求めた(図5)。

重心軌跡長：セットごとに右中指でなぞって得られた5個の三角形の軌跡の各重心位置を算出し、それらの重心位置の移動距離を算出した(図6)。

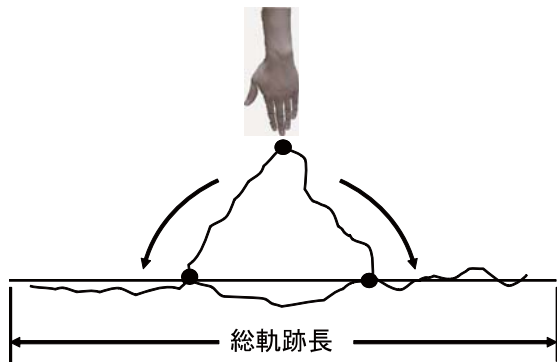


図5 総軌跡長平均の求め方

基準三角形をなぞった時の右中指に貼付した反射マーカの軌跡の長さ(総軌跡長)を求め、5周分の平均値を算出した。

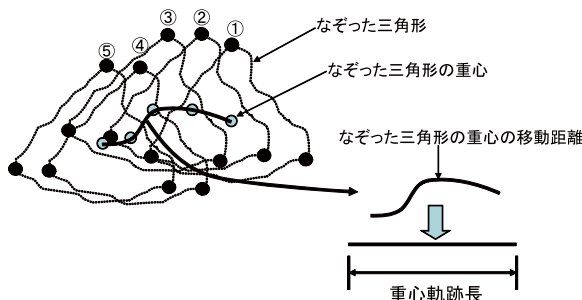


図6 重心軌跡長の求め方

右中指でなぞって得られた5個の三角形の各重心位置を算出し、それらの重心位置の移動距離を算出した。

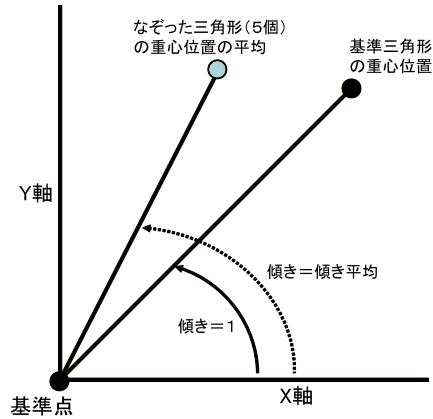


図7 傾き平均

セットごとに右中指でなぞって得られた5個の三角形の軌跡の各重心位置を算出し、それらの座標の平均値を求め、各セットの重心位置の代表位置とした。床上に設置した基準三角形の重心位置との線分が、座標上にて傾きが1となるような基準点を置き、その基準点と上記の代表位置との線分の傾きを求めた。

傾き平均：セットごとに右中指でなぞって得られた5個の三角形の軌跡の各重心位置を算出し、それらの座標の平均値を求め、各セットの重心位置の代表位置とした。床上に設置した基準三角形の重心位置との線分が、座標上にて傾きが1となるような基準点を置き、その基準点と上記の代表位置との線分の傾きを求めた(図7)。

上記の値を「通常動作」、「体性感覚動作」、「外乱動作」の各条件間で一元配置分散分析を用いて比較した。

統計学的処理は、統計処理ソフトSPSS ver.11 for Windowsを用いて、有意水準は5%とした。

【結果】

各結果を平均値と標準偏差にて示す。総軌跡長平均は、通常動作は93.1±6.6cm、体性感覚動作97.5±12.0cm、外乱動作は108.0±12.0cmで、通常動作と外乱動作との間にて有意差を認めた (p<0.05) (図8)。

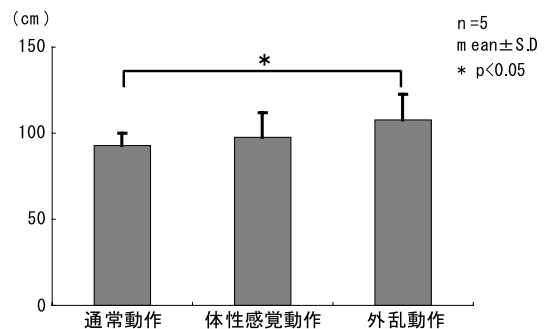


図8 総軌跡長平均の結果

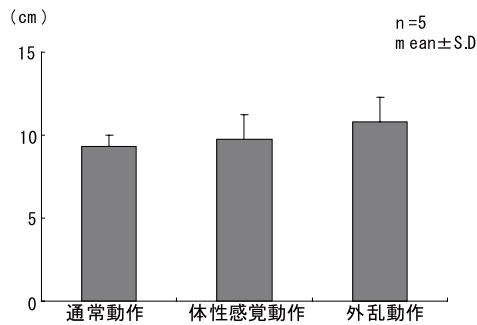


図9 重心軌跡長の結果

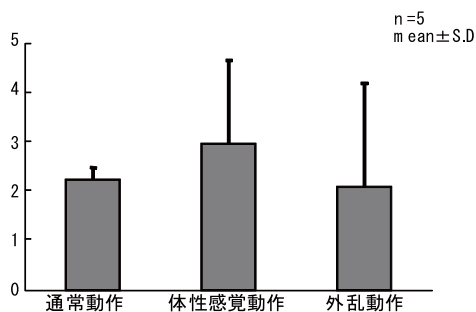


図10 傾き平均の結果

重心軌跡長は、通常動作 6.4 ± 1.0 cm、体性感覚動作 9.0 ± 0.8 cm、外乱動作 10.0 ± 2.3 cmであり、有意差は認めなかった(図9)。

傾き平均は、通常動作 2.2 ± 0.2 、体性感覚動作 3.0 ± 1.7 、外乱動作 2.2 ± 2.0 であり、有意差は認めなかった(図10)。

【考察】

臨床において、疼痛は患者の行動にしばしば影響を与える。この行動の変化は侵害受容系のアップレギュレーション(up-regulation)と、その結果生じる中枢神経系機能の神経可塑(neuroplasticity)によって生じるとされている。侵害受容系のアップレギュレーションは、侵害刺激によって一次性痛覚増強と二次性痛覚増強と呼ばれる二つの異なる疼痛増強が生じることによる。一次性痛覚増強は末梢性感作とも呼ばれ、末梢侵害受容器で生じる侵害受容体の活性化、活動性侵害受容体の感作、機械刺激低感受性侵害受容器もしくは非活動性侵害受容体の動員、そして非侵害性求心性神経のフェノタイプの変化が関与しているとされている。この一次性痛覚増強に伴って脊髄レベルで侵害情報を処理する細胞での二次性痛覚増強が生じる。二次性痛覚増強は中枢性感作とも呼ばれ、広作動域ニューロンの興奮性増大、受容野の拡大や逃避反射における変化といった神経可

塑性のさまざまな面に関与し、末梢侵害受容器からの入力なくなっても持続することから慢性疼痛の原因の一つと考えられている³⁾。

慢性的な疼痛を有する肩関節疾患においてもこれらの機序が関与していると考えられ、肩関節周囲組織に何らかの組織損傷が生じたことによる末梢侵害受容体の活性化が改善した後も、逃避反射の亢進や悪循環モデルの形成、あるいは痛みへの適応モデルといった二次性痛覚増強に伴う「体性運動機能不全」が生じていることが考えられる。

これに加えて、上肢の中で最も近位に位置する肩関節に「体性運動機能不全」が生じる原因の一つに、体幹とリンクする四肢近位に位置する関節の運動制御は無意識下にて体性感覚情報のみで機能する¹⁾ことの関与が考えられる。すなわち体性運動機能不全は、中枢性感作により生じた神経筋活動の変化が無意識下の体性感覚情報に変化を与え、関節運動の認知に影響を及ぼし、通常と異なる運動様式が無意識下に形成された結果生じるものと考えられる。

今回の研究は、規定した三角形を右中指でなぞる運動課題を、視覚と体性感覚情報により肩関節運動を認知する「通常動作」と、体性感覚情報のみで肩関節運動を認知する「体性感覚動作」、および体性感覚情報のみで肩関節運動を認知する際に肩関節周囲筋群の一部である大円筋と広背筋に運動負荷を加え、筋疲労による肩関節周囲筋群間の筋緊張に差を生じさせることで体性感覚情報を変化させた「外乱動作」の三条件で、なぞった三角形の総軌跡長、なぞった三角形の重心軌跡長、なぞった三角形の重心軌跡の重心位置の傾きを指標に比較した。その結果、総軌跡長平均において「通常動作」と「体性感覚動作」の間には有意差を認めず、「通常動作」と「外乱動作」の間に有意差を認めたことは、運動負荷によって生じた神経筋活動の変化が体性感覚情報を変化させ、無意識下で行われる肩関節運動の認知に影響を及ぼしたものと考えられる。「オートポイエーシス理論」では「感覚入力と運動出力の区別はない」とされ、すべての行為は認知であり、すべての認知は行為であると考えられている²⁾。したがって、何らかの原因により肩関節周囲に一次性痛覚増強が生じ神経筋活動に変化を来した場合、体性感覚情報の変化となって肩関節運動の認知に影響を及ぼし、「体性運動機能不全」として関節の安定性や制御機構に障害を生じることで慢性疼痛の原因になる

ことが示唆される。

以上のことから、在宅リハビリテーションの対象者やその介護者に生じた疼痛を伴う肩関節疾患に対する治療を行う際には、正常な体性感覚入力が必要であり、症状の慢性化を予防するためにも、関節運動の情報を正しく再構築する必要があると考えられた。

【参考・引用文献】

- 1) ニコライ A ベルンシュタイン：動作構築のレベル. 工藤和俊, 佐々木正人：デスクテリティ巧みさとその発達, (株) 金子書房, 東京, 132-202, 2004.
- 2) 宮本省三, 沖田一彦：認知運動療法の視座：認知運動療法入門, (株) 協同医書出版社, 東京, 33-40, 2006.
- 3) Jenny Strong et al：痛みの神経生理学と痛み調節. 熊澤孝朗：ペイン 臨床痛み学テキスト, エンタプライズ, 東京, 59-62, 2007.