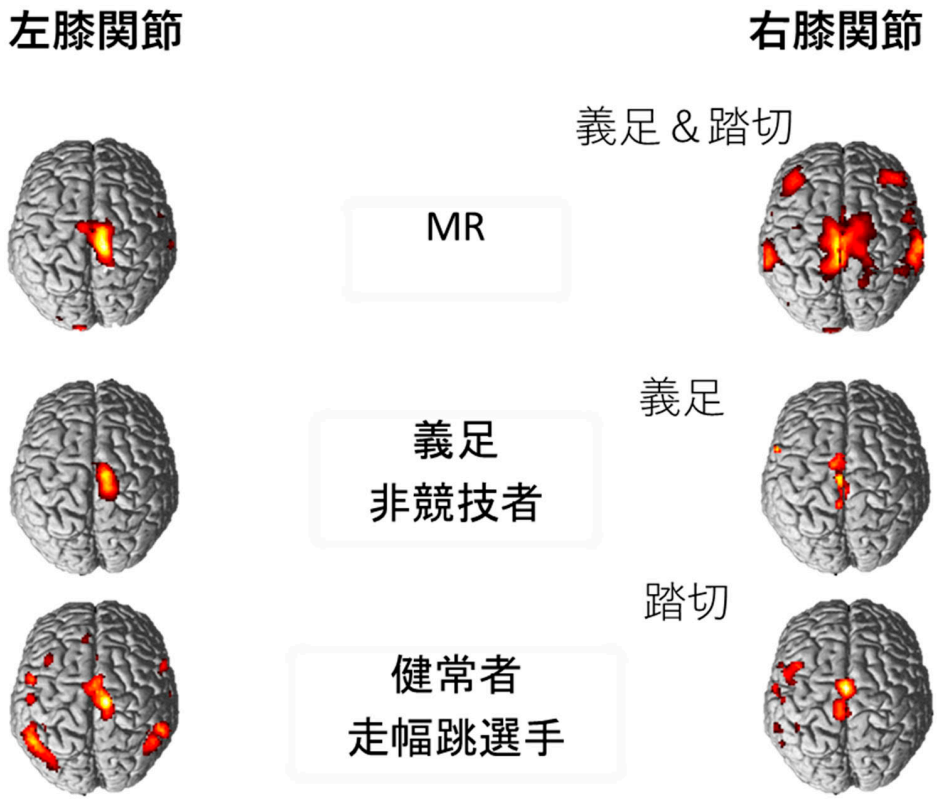
12　パラリンピックアスリートにみられる脳の再編	中澤　公孝

【目的】本研究の最終目的は、障害を有するアスリートにおける脳の機能再編成とトレーニングとの関係を探求することで、効率的に中枢神経の機能再編を導き、身体の機能回復を企図するニューロリハビリテーションの基盤理論構築につなげることにある。今回の研究では特に、義足のアスリートを対象として、トレーニングに伴う脳の機能再編を探求することを目的とした。

【方法】義足アスリートの運動野機能地図が特異的に再編されるのかどうかを明らかにするために、脳機能画像検査法（fMRI）を用いた実験を実施した。実験参加者は、3 テスラの MRI のガントリー内で仰向けになり、左右下肢関節をそれぞれ一定のペースで周期的に動かす、あるいは該当する筋を収縮させる課題を実施した。すなわち、1）足関節底・背屈運動、2）膝関節筋収縮、3）大臀筋収縮、を左右それぞれで計 6 種類の課題を行った。それぞれの課題遂行中に活性化する脳領域を同定した。参加者は、義足競技者 4 名、義足非競技者 4 名および健常競技者 12 名であった。

【結果】本研究の結果、次のことが明らかとなった。すなわち、1）膝下切断による義足競技者において、義足側膝関節周囲筋を収縮させる時のみ両側運動野が活性化、2）下腿義足非競技者、健常競技者には観察されない、3）大腿切断による義足競技者では義足側股関節周囲筋収縮時に両側性運動野活性が観察された。

膝関節周囲筋収縮時の運動野活動領域　―義足競技者と対照群の比較―



12. パラリンピックアスリートにみられる脳の再編

中澤　公孝

東京大学 大学院総合文化研究科 広域科学専攻 生命環境科学系

Key words：パラリンピック，脳，再編，ニューロリハビリテーション

緒　言

本研究の最終的な目的は、障害を有するアスリートにおける脳の機能再編成とトレーニングとの関係を探求することで、効率的に中枢神経の機能再編を導き、身体の機能回復を企図するニューロリハビリテーションの基盤理論構築につなげることにある。パラアスリートの脳機能の再編は、人間が最大限のモチベーションの下に身体的トレーニングを継続的に実施した際に生じる脳の構造的・機能的再編成の最大値を示す最良モデルである。パラアスリートは例外なく身体の一部に何らかの障害を有しており、損傷後の機能再編という意味で、まさに障がい者のニューロリハビリテーションにとってこれ以上ないモデルといえる。このような視点から、本研究では特に、義足のアスリートを対象として、トレーニングに伴う脳の機能再編を明らかにすることを目的とした。

方　法

1. 参加者

実験の参加者は、義足競技者 4 名、義足非競技者 4 名および健常競技者 12 名であった。なお、義足競技者には、パラリンピック走り幅跳び金メダリスト（MR）、走高跳 4 位、走り幅跳び銀メダリストが含まれていた。

2. 脳機能画像（fMRI）実験

義足アスリートが義足を直接操作する部位を動かす際の一次運動野、高次運動野、感覚野の活動が健常者アスリートや義足非アスリートとは異なるかどうかを調べ、パラアスリートの脳機能の特異性を明らかにするために次の実験を実施した。参加者に要求した課題は、3 テスラの MRI のガントリー内で仰向けになり、左右下肢関節をそれぞれ一定のペースで周期的に動かす、あるいは該当する筋を収縮させる課題であった。すなわち、1）足関節底・背屈運動、2）膝関節筋収縮、3）大臀筋収縮、を左右それぞれで計 6 種類の課題を行った。参加者は頭部コイルに設置された鏡越しにスキャンルームに設置されたディスプレイを見ながら課題を実施した。ディスプレイには課題の種類（安静条件含む）が文字で示され、提示中はその課題を行った。なお、義足の参加者は、課題において指定された部位を欠損している場合、無い部分を動かすよう脳内でイメージすることを要求した。下腿切断の義足アスリートは膝関節、大腿切断アスリートは股関節運動時に両側性の脳活動が生まれることが予想され、健常者、義足非競技者では反対側半球の脳活動が中心となることが予想された。すなわち、この実験では下肢各関節周囲筋を収縮際の脳活動領域を同定し、いわゆる運動野機能地図を調べることを目的とした

結　果

1. 運動野機能地図

本研究の fMRI 実験を通じて得られた主要な結果の一例を図 1 に示した。下腿義足非競技者および健常競技者においては、下肢の各関節周囲筋を収縮する際に対側運動野の頭頂溝付近に強い活動が観察された。それに対し、義足競技者では義足側下肢の義足が直結する関節周囲筋を収縮する時のみ両側運動野頭頂溝近辺に強い活動が観察された。そのような両側性の運動野活動は義足競技者においてのみ認められた。

2. 義足走り幅跳競技者の両側性運動野活動

義足走り幅跳パラリンピック金メダリスト MR に観察された両側性運動野活動の統計的有意性を次の方法により調べた。まず幅跳踏切足側膝関節周囲筋収縮時の右側運動野と左側運動野の活動度（t 値）の差分を算出した。MR の場合、両側に活動が生じたため左右運動野活動の差分は小さくなる。その値を義足非競技者群および健常幅跳選手群と比較した。その結果、MR の左右運動野活動の差は他の被検者群に比べて有意（$p < 0.01$）に低いことが判明した。MR の対側運動野活動が他の被検者群と同等に生じていたため、左右差が有意に低いという結果は、MR の同側運動野活動が他の被検者群に比べて有意に大きいことを示すものである。

3. 義足走り高跳選手の両側性運動野活動

MR と同様な下腿切断アスリートを対象として fMRI 実験を行った。対象は、走り幅跳びのアジア記録保持者であり、パラリンピック 4 位の男性選手であった。その結果、この選手においても義足側の膝関節周囲筋を収縮させるときにのみ同側性の活動が観察された。

4. 大腿義足走り幅跳選手の脳活動

義足操作がさらに難しくなることが予想される大腿義足のパラリンピック選手についても fMRI 実験を実施した。対象は大腿義足の走り幅跳選手（T42 クラス）であり、パラリンピック銀メダリストでアジア記録保持者であった。下腿義足選手の結果から、この選手では義足と結合する股関節において両側性の脳活動が観察されることが予想された。その結果、予想通り義足側股関節周囲筋を随意収縮させる際に両側性の運動野活動が観察された。義足側足関節と膝関節は欠損しているが動かすイメージを課したところ、対側運動野の活動が観察された。しかし、この選手では非義足側下肢の股関節および膝関節周囲筋の随意筋収縮時にも両側性の運動野活動が観察された。非義足側下肢筋収縮時の両側性運動野活動はこの選手にのみ観察され、他の義足競技者、義足非競技者、健常者のいずれにおいても認められない特異的活動であった。

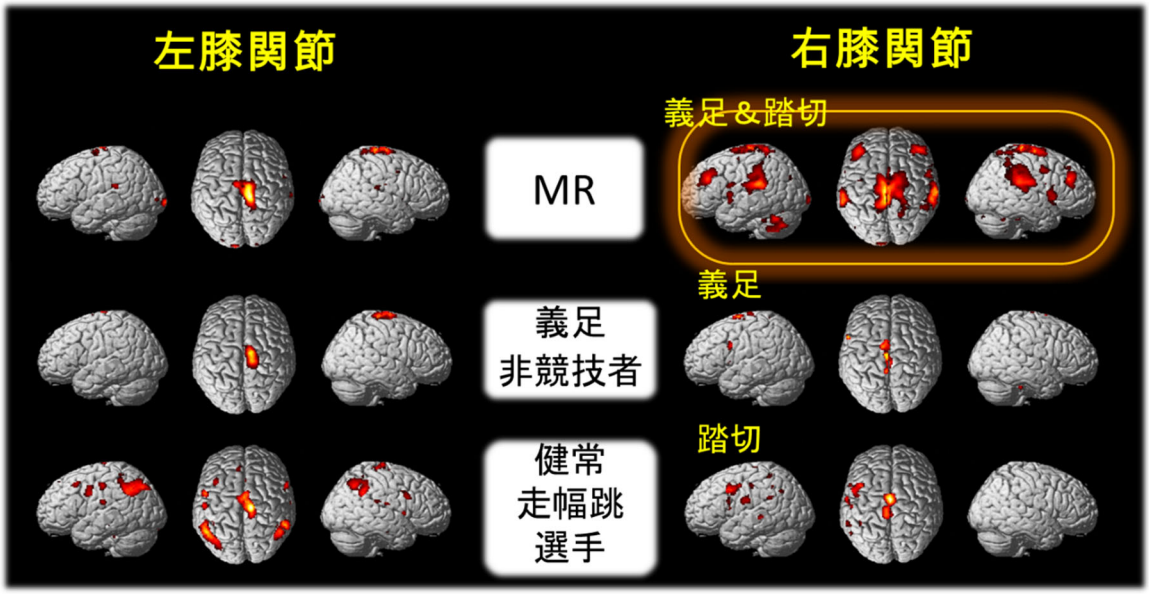


図 1. 膝関節周囲筋随意収縮時の脳活動領域

左右膝関節周囲筋を随意的に収縮させた際の脳活動領域。パラリンピック金メダリスト MR と健常走り幅跳選手では右下肢が踏切足側となる。

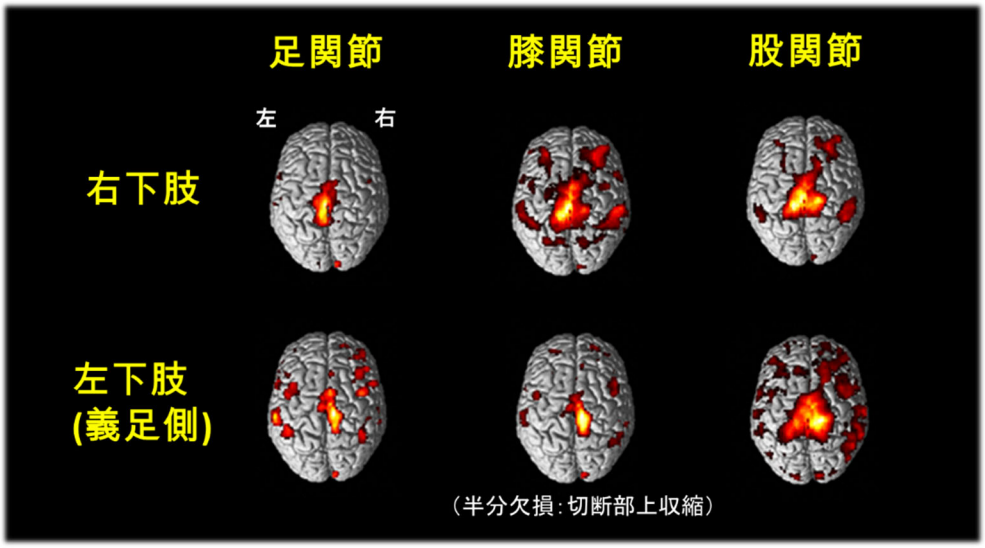


図 2. 大腿義足走り幅跳選手の脳活動

義足側股関節周囲筋を随意収縮させる際に両側性の運動野活動が観察された。欠損している義足側足関節と膝関節を動かすメージ時には対側運動野の活動が観察された。非義足側下肢の股関節および膝関節周囲筋の随意筋収縮時にも両側性の運動野活動が観察された。

考　察

本研究の結果、下腿義足競技者において義足に直結する関節周囲筋の収縮時に両側運動野の活動が観察されることが明らかとなった。すなわち、膝下切断選手では義足と最終的に結合する膝関節において、大腿義足選手では股関節において、それぞれの周囲筋随意収縮時に両側性運動野活動が観察された。随意筋収縮時には対側運動野のみの片側活動が一般的であるが、両側運動野の活動は脳卒中後や脳性麻痺においてしばしば観察されることが知られている［1，2］。しかし、今回明らかとなった義足競技者の、特に義足に結合する関節においても観察されることは、少なくとも報告者が知る限り全く知られていなかった。今回、同様の義足装着者であっても競技を行っていない人には両側性の運動野活動が観察されないこと、比較的競技レベルが高い健常幅跳選手にも認められなかったことは、義足競技者に見られた両側性運動野活動が高い競技パフォーマンスを達成するために必要な高度な運動スキルに関連すること、そしてそれを獲得するために必要な精密な義足操作に関係していることを示唆している。脳は可塑性に富んでおり、とりわけ運動課題依存的可塑性（motor task dependent plasticity）はリハビリテーション介入によって脳の再編を誘導する基盤的性質であることが知られている［3］。競技スポーツにおける身体的トレーニングと機能回復を企図するリハビリテーションのための身体的トレーニングは目的が異なるが、いずれも中枢神経の適応的変化を伴うと考えることができる。今回観察された、義足競技者の特異的な両側性運動野活動は異なる競技間でも観察されており、高度に競技に特化した適応というよりむしろ、高レベルの競技トレーニングに共通する脳活動なのかもしれない。また大腿義足選手では非義足側の膝関節、股関節周囲筋の随意筋収縮時にも両側性運動野活動が観察されており、今後、義足側のみならず、非義足側の運動制御にも注目する必要がある。

いずれにしてもパラリンピックアスリートの特異的脳活動、脳再編に関しては研究が始まったばかりであり、今後の発展が期待される研究領域となろう。

共同研究者・謝辞

本研究は、早稲田大学スポーツ科学部の彼末一之教授、慶応大学理工学部の水口暢章研究員、東京大学大学院総合文化研究科の中川剣人研究員、同大学院生の田沢優、との共同で行われた。ここに謝意を表する次第である。

文　献

1） Otsuka N, Miyashita K, Krieger DW, Naritomi H. Compensatory contribution of the contralateral pyramidal tract after stroke. Front Neurol Neurosci. 2013; 2:45-53. PMID: 23859962.

2） Gordon AM, Bleyenheuft Y, Steenbergen B. Pathophysiology of impaired hand function in children with unilateral cerebral palsy. Dev Med Child Neurol. 2013 Nov;55 Suppl 4:32-7. PMID: 24237277.

3） Nudo RJ, Wise BM, Sifuentes F, Milliken GW. Neural substrates for the effects of rehabilitatitive training on motor recovery after ischemic infarct. Science 1996 272: 1791-4. PMID: 8650578.