

脳卒中患者の静止立位における下肢筋間コヒーレンスと身体動揺との関係

○山中 英士^{1,2)}, 川上 途行^{2,3)}, 後藤 凌介²⁾, 立石 貴樹^{2,4)}, 近藤 国嗣²⁾, 野島 一平¹⁾

- 1) 信州大学大学院 総合医理工学研究科
- 2) 東京湾岸リハビリテーション病院 リハビリテーション部
- 3) 慶應義塾大学 医学部リハビリテーション医学教室
- 4) 畿央大学大学院 健康科学研究科

【目的】脳卒中患者は身体動揺と転倒リスクが高く、その治療介入のため立位制御の神経基盤を明らかにすることが重要である。立位時神経活動の評価指標として、筋活動の周波数成分における相関を求めるコヒーレンス解析がある。δ 帯域のコヒーレンスは脊髄α 運動ニューロンの同期的活動と関連する一方、β 帯域は大脳皮質からの下降性入力と関連することが報告されている。本研究では、脳卒中患者の立位における筋間コヒーレンスを評価し、身体動揺との関係を明らかにすることを目的とした。

【方法】対象は回復期病棟に入院した脳卒中片麻痺患者7名(年齢:55±12歳,発症後:55±13日,Fugl-Meyer Assessment下肢運動項目:21.8±8.5点)とした。床反力計上で静止立位をとり、両側の前脛骨筋、ヒラメ筋、内側腓腹筋より筋活動を計測した。解析には30秒間の全波整流した筋活動データを用い、両側同名筋間、片側共同筋間、片側拮抗筋間のコヒーレンス値を算出した。筋間コヒーレンスは周波数解析で求めたauto-spectraとcross-spectraより算出し、δ 帯域(0-5 Hz)およびβ 帯域(15-35 Hz)の平均値を統計解析に使用した。片側共同筋間と拮抗筋間のコヒーレンスは、対応のあるt検定を用いて麻痺側と非麻痺側を比較した。立位身体動揺の指標として足圧中心の変位と速度を算出し、筋間コヒーレンスとの関係をPearsonの積率相関係数を用いて検討した。

【結果】片側共同筋間のβ 帯域コヒーレンスは、非麻痺側に比べ麻痺側で有意に低値を示した($p=0.02$)。一方、片側拮抗筋間のδ 帯域コヒーレンスは、非麻痺側に比べ麻痺側で有意に高値を示した($p<0.01$)。非麻痺側における共同筋間のβ 帯域コヒーレンスおよび、麻痺側における拮抗筋間のδ 帯域コヒーレンスは身体動揺指標と有意な正の相関を示した(非麻痺側共同筋間: $r=0.78, p=0.03$;麻痺側拮抗筋間: $r=0.77, p=0.04$)。また、両側同名筋間におけるδ 帯域およびβ 帯域コヒーレンスは身体動揺指標と有意な負の相関を示した(δ 帯域: $r=0.89, p<0.01$;β 帯域: $r=0.76, p=0.04$)。

【考察】共同筋間β 帯域におけるコヒーレンスの結果は、脳卒中患者の立位における病巣側大脳皮質から麻痺筋への下降性神経活動の低下と、非病巣側大脳皮質からの下降性神経活動の増加による代償的な制御を反映している可能性がある。一方、麻痺側δ 帯域における拮抗筋間コヒーレンスの増加は、痙縮や転倒恐怖感により拮抗筋間の同時収縮を呈する脳卒中患者の病態を反映した変化と推察される。

【結論】脳卒中患者の静止立位において、麻痺側と非麻痺側下肢は異なる神経活動を示し、身体動揺と関連する可能性が示唆された。

【倫理的配慮、説明と同意】本研究は発表者が所属する施設の倫理委員会(承認番号:272-2)の承認を得て実施した。被験者には文書と口頭にて研究内容を説明し、同意を得た。

機能的電気刺激とVirtual reality課題による空間性注意への影響

○吉弘 奈央^{1,2)}, 網本 和²⁾, 尾崎 新平^{2,3)}, 田邊 淳平^{2,4)}

- 1) 関西医療大学 保健医療学部 作業療法学科
- 2) 東京都立大学大学院 人間健康科学研究科 理学療法科学専攻
- 3) 関西電力病院 リハビリテーション部
- 4) 広島都市学園大学 健康科学部 理学療法専攻

【目的】半側空間無視(USN)に対する介入として、機能的電気刺激(FES)による上肢の非随意的な運動が報告されている。FESは、併用する注意課題の特性により効果が異なる可能性が示されている。一方、USNに対してVirtual Reality(VR)を用いた介入も注目されてきており、疑似的に没入感の高い空間を作り出すことができる。そこで本研究では、FESによる上肢運動とVR上での空間性注意課題を使用し、USNの評価としても用いられるPosner課題上での健常者における空間性注意への影響を検討した。

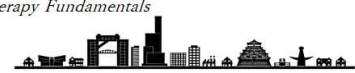
【方法】対象は、右利きの健常成人14名である。FES装置にはIVES+(オージー技研社製)を使用し、左手関節伸筋群に刺激電極を貼付した。周波数40Hz,パルス幅50μsec,筋収縮が得られる強度で、通電・休止時間を各5秒間に設定した。Posner課題は、パソコン画面上の左右に出現するターゲットに対してキーを押して反応時間を評価した。ターゲット出現前には矢印手がかりが一致条件と不一致条件の2種類でランダムに提示される。VRには、Oculus quest 2(Facebook Technologies)を使用し、課題はランダムに出現する風船に視線を向けて割るものであった。1回の課題につき風船探索を全48回試行し、反応時間を記録した。Posner課題6分,VR課題5分,Posner課題6分を1セットとし、(a)VR課題中FESを同時に実施、(b)VR課題のみを実施(Shamコントロール)、の2条件を実施した。対象者は(a)(b)の順、(b)(a)の順で実施するものにランダムに振り分けた。統計解析は、Posner課題の反応時間変化率(VR・刺激の前後)について、刺激の有無(FES・Sham)による差を、各ターゲット提示条件(①不一致条件で左に出現または②右に出現、③一致条件で左に出現または④右に出現)において対応のあるt検定を用いて検討した。有意水準は5%とした。

【結果】Posner課題におけるVRとFESの影響について、②不一致条件でターゲットが右側に出現する場合 FES実施時(24.27ms短縮)とSham時(9.24ms延長)で有意な差を認めなかった。

【考察】Posner課題における一致条件と不一致条件では、不一致条件においてFESの効果が見られる可能性が示唆された。Posner課題においては健常者およびUSN患者に対しても一致条件よりも不一致条件での反応時間の遅延を認められることが報告されている(Rengachary et al., 2009)。FESとVRの併用は、不一致条件のような一度注意を引き付けられた後に他の方向へ注意を転換させやすくする可能性が示唆される。

【結論】USN患者は、一度注意が健側へ引きつけられると、その後無視側へ注意を転換させることがより困難となる。FESとVRを併用することによって、上記のような注意の転換を促進することにつながるかもしれない。

【倫理的配慮、説明と同意】本研究は発表者が所属する施設の研究倫理委員会(承認番号:21091)の承認を得て実施した。



視線を運動部位に向けることで脊髄前角細胞の興奮性は増大する-視線追跡装置を用いた検討-

○角川 広輝¹⁾, 高崎 浩壽^{2,3)}, 末廣 健児⁴⁾, 石濱 崇史⁴⁾, 鈴木 俊明⁵⁾

- 1) 京都田辺記念病院 リハビリテーション部
- 2) 京都田辺中央病院 リハビリテーション部
- 3) 金沢大学大学院 医薬保健総合研究科
- 4) 医療法人社団 石鎚会 法人本部
- 5) 関西医療大学大学院 保健医療学研究科

【目的】

運動観察は他者の行動を直接的、あるいは映像を介して観察する行為であり、運動制御機構である運動関連領域や脊髄前角細胞が賦活すると報告されている。さらに、運動観察における中枢神経機能の賦活には視覚的注意の関与が示唆されており、運動部位へ視覚的注意が向くことで、運動部位に関連した脳領域の活動性が増大することは明らかである。しかし、最終的な運動制御の役割を担う脊髄前角細胞の興奮性変化と視覚的注意の関連性については詳細な検討がなされていない。そこで、視覚的注意を定量的に計測するため、密接な関係性を有する視線を評価し、脊髄前角細胞の興奮性変化との関連性について視線追跡装置とF波を用いて検討した。

【方法】

健康成人31名(平均年齢26.7±7.5歳)を対象に右上肢を検査側とした。測定方法は頭部を固定する椅子に座り、右尺骨神経刺激により右小指外転筋から安静時のF波を導出した。4分間の休息後、パソコン画面に映像を提示し対象者の視線の動向とF波を測定した。映像課題は母指以外の4指の屈曲運動(課題A)と小指の屈曲運動(課題B)を用い、各課題にて自由観察条件と小指に視線を向ける注視条件を設定した。また、映像に対する視線の動向を評価するため、小指に対して興味領域を作成した。検討項目は安静時を1とした運動観察時の振幅F/M比相対値、小指に対する視線の停留時間とした。

【結果】

振幅F/M比相対値と視線の停留時間については、課題Aの自由観察条件と比較し課題Aの注視条件、課題Bの両条件で有意に高値を示した。

【考察】

課題Aは4指の運動が同時に生じ、小指に対し視覚的注意が向きにくい特徴があったと推察され、自由観察条件と比較し、注視条件では小指に対する停留時間は増大した。よって、小指の運動に注意が向き、上位中枢の活動が賦活され、下行性線維を介し小指外転筋に対応する脊髄前角細胞の興奮性が高まったと考える。一方で、課題Bは小指単独の運動映像であるため、両条件とも小指に対する視線の停留時間は増大し、脊髄前角細胞の興奮性も高まったと考える。したがって、運動観察は運動部位に視線を向けることが脊髄前角細胞の興奮性を増大させる一つの要因であり、さらに提示する映像によって対象者の視線の動向を制御できる可能性も示唆される。

【結語】

本研究は、運動観察における視線と脊髄前角細胞の興奮性との関係性について検討した。特定の運動部位へ視線を向けることで、運動に関与する筋に対応した脊髄前角細胞の興奮性は増大する結果が得られた。また、対象者の視線の動向は、研究者の指示に加え提示する映像によっても大きく影響を受ける可能性がある。よって、理学療法で応用する場合は提示映像を工夫し、患者の視線および視覚的注意の制御に努める必要がある。

【倫理的配慮、説明と同意】

本研究はヘルシンキ宣言に従い倫理と個人情報に配慮し、口頭での説明と書面にて同意を得て実施した。

体外式膜型人工肺はラット骨格筋の弛緩速度を減少する

○堀田 一樹^{1,2)}, 藤井 豊³⁾, 池上 諒⁴⁾, 田宮 創⁴⁾, 井上 達朗⁴⁾, 椿 淳裕⁴⁾

- 1) 北里大学 医療衛生学部リハビリテーション学科理学療法専攻
- 2) 北里大学大学院 医療系研究科
- 3) 新潟医療福祉大学 医療技術学部臨床技術学科
- 4) 新潟医療福祉大学 リハビリテーション学部理学療法学科

【目的】長期の体外式膜型人工肺(ECMO)管理では、筋萎縮の予防を目的に骨格筋に対する電気刺激療法を行う場合がある。本研究の目的は、ECMOモデルラットの骨格筋の収縮および弛緩機能を偽介入(Sham)ラットと比較することである。【方法】雄性Sprague Dawleyラット(n=17, 463±15g)をECMO群とSham群に分類した。ECMO群に対しては、人工呼吸器管理下(FiO₂1.0)にて右頸静脈に脱血管を、左頸動脈に送血管をそれぞれ留置し、ポンプとECMOによって体外循環と酸素化をおこなった。右前脛骨筋(TA)に留置した電極を介して、5V, 2ms, 1Hz, 180秒間の刺激を実施し、得られた筋張力を1000Hzでサンプリングした。張力波形からrate of force development(RFD)およびpeak値を算出した。張力がPeakに到達した後の最大弛緩速度(maximum relaxation rate; MRR)を算出した。Sham群に対しては脱血管および送血管を留置するのみで、体外循環は実施しなかった。りん光クエンチング法により、TA間質の酸素分圧(pO_{2is})を筋張力と同時にリアルタイムで計測した。

【結果】動脈血ガス分析の結果、ECMO群の動脈血酸素分圧はShamと差を認めなかったが(473±33 vs. 424±41 mmHg, Sham vs. ECMO), ヘモグロビン値が有意に低値を示した(14.6±0.4 vs. 10.5±0.6 g/dL, p<0.01)。ECMO中の筋張力をみると、ECMO群のRFDおよびPeak値はSham群と差を認めなかったが(RFD, 63.5±3.2 vs. 64.5±2.8 g/mg/s; Peak 0.102±0.001 vs. 0.104±0.001 g/mg), ECMO群のMRRはShamと比べて有意に低値を示した(38.0±11.5 vs. 18.8±5.9 g/mg/s, p<0.01, Sham vs. ECMO)。収縮中のpO_{2is}はShamと比べてECMO群で有意に低値を示した(1.2±1.6 vs. 0.1±0.2 mmHg, p<0.01)。【考察】骨格筋の弛緩速度は筋細胞内カルシウムイオン濃度の再吸収や、筋疲労と関係している。ECMOはラット骨格筋の収縮能に影響しなかったが、弛緩速度を減少した。その背景には、ECMOの血液希釈に伴う貧血や、収縮筋の低酸素が関係していることが示唆された。【結論】ECMOはラット骨格筋の収縮能には影響しないが、弛緩速度を減少すると思われる。【倫理的配慮】本研究は、発表者が所属する組織の動物実験倫理委員会(承認番号: 30006)の承認を得て実施した。



変形性膝関節症モデルラットの膝蓋下脂肪体線維化におけるマクロファージの性質と低出力超音波パルス療法が与える影響

○北川 崇^{1,2)}, 川畑 浩久^{1,3,4)}, 工藤 慎太郎^{1,3,5,6)}

- 1) 森ノ宮医療大学大学院 保健医療学研究科
- 2) 社会医療法人有隣会 東大阪病院 回復期リハビリテーション課
- 3) 森ノ宮医療大学 インクルーシブ医科学研究科
- 4) 森ノ宮医療大学 保健医療学部 臨床検査学科
- 5) 森ノ宮医療大学 保健医療学部 理学療法学科
- 6) アレックスメディカルリサーチセンター

【目的】

変形性膝関節症(KOA)では膝蓋下脂肪体(IFP)に線維化が生じる(Eymard,2017)と報告されており、この病態にマクロファージの性質(M1/M2)が関与することが指摘されている(Zhang,2020)。マクロファージは炎症を促進するM1マクロファージと抗炎症作用をもつM2マクロファージに区別されるが、M1/M2の比がKOAの重症度に関与することが示唆されている(Liu,2018)。一方で低出力超音波パルス療法(LIPUS)がKOAにおける滑膜の炎症を抑制すること(Liao,2021)が報告されているが、マクロファージの性質との関連性については十分に検討されていない。そこで本研究はLIPUSがマクロファージの性質ならびにIFPの線維化にあたえる影響について検討を行った。

【方法】

Wister rat(8週齢)の両側膝関節内へカラゲニン(1.0%/50 μ l)を注射し、KOAモデルを作製した。経時的に組織を採取し、組織学的解析(Sirius red染色, 免疫組織化学染色(RM-4(マクロファージマーカー), CD80(M1マーカー), CD206(M2マーカー))と細胞の分布状況や線維化について画像解析を行った。さらにカラゲニン投与後2週間LIPUS(3MHz, 120mW/cm², 5回/週, 15分)を照射し同様の解析を行った。統計学的処理は対応のない検定を行った(p<0.05)。

【結果】

カラゲニン投与後2週目のIFPではRM-4陽性細胞が広範囲に分布し、IFPへの細胞浸潤と線維化がみとめられたが、CD80およびCD206陽性細胞の分布状況に有意差はなかった。LIPUS照射群と非照射群の比較ではRM-4およびCD80陽性細胞で有意差はなかったが、CD206陽性細胞はLIPUS照射群で有意に増加(p<0.05)し、線維化は抑制されていた(p<0.01)。

【考察】

カラゲニン投与によりIFPにマクロファージの浸潤がみられ、周囲に線維化が生じていたが、CD80およびCD206陽性細胞の分布状況に有意差はなかった。一方、LIPUS照射群でもマクロファージの浸潤やCD80陽性細胞の分布に有意差はなかったが、CD206陽性細胞は有意に増加し、線維化は抑制されていた。このことはLIPUSがM1マクロファージからM2マクロファージへとマクロファージの性質を変化させる作用を持つことを示唆している。すなわちLIPUSはマクロファージの性質を変化させることで線維化を抑制する作用をもつと考えられた。なおメカニズムについては詳細な解析を行う必要がある。

【結論】

LIPUSはマクロファージの性質を変化させることで、IFPの線維化を抑制する作用を持つことが示唆された。

【倫理的配慮、説明と同意】

本実験は発表者が所属する組織の動物実験倫理委員会(認証番号:2019A001)の承認を得て実施した。

低出力超音波パルスよりも高強度の超音波刺激は内軟骨性骨化を促進する—マウス脆弱性骨折モデルを用いた検討—

○井上 翔太^{1,2)}, 李 昌欣¹⁾, 畠山 隼平^{1,2)}, 姜 函林¹⁾, 黒木 裕士³⁾, 森山 英樹⁴⁾

- 1) 神戸大学大学院 保健学研究科
- 2) 日本学術振興会 特別研究員
- 3) 京都大学大学院 医学研究科
- 4) 神戸大学 生命・医学系保健学域

【目的】超高齢社会となり、骨折患者数の増加に伴って、骨折の治癒期間の短縮が強く望まれている。低出力超音波パルス(LIPUS)は骨折治癒促進法として広く臨床で用いられているが、2017年に報告されたメタアナリシスにおいて、LIPUSが骨折治癒を促進しないことが実証され、大きな議論を巻き起こした。私たちはこれまでの研究から、LIPUSよりも高強度の超音波刺激が、より効率的に骨形成を促進できる可能性を見出した。LIPUSに代わる新たな超音波治療法の社会実装を見据えると、骨折治癒、特に内軟骨性骨化に与える影響の理解が必要不可欠である。本研究では、マウス脆弱性骨折モデルを対象に、LIPUSよりも高強度の超音波が骨折後の内軟骨性骨化に与える影響を明らかにすることを目的とした。

【方法】8週齢の雌性C57BL/6マウスの卵巣を摘除し、4週間飼育することで骨粗鬆症を生じさせた後、大腿骨に横断骨折を作製した。マウスを通常飼育する対照群と、0.04または0.2W/cm²の強度の超音波を照射する超音波介入群に分けた(各群n=7~8)。超音波介入は、骨折作製翌日から毎日20分間実施した。骨折作製1、2、3、4週時点で、マイクロCTと組織学的解析により骨折仮骨の新生骨量、骨塩量、軟骨量、骨折治癒進行度(Allenスコア)を評価した。骨折4週時点のサンプルは力学試験に供した。Allenスコアは、Kruskal-Wallis検定、その他の結果は一元配置分散分析と多重比較検定を行った。

【結果】0.04W/cm²の超音波照射は、軟骨・新生骨量、仮骨サイズ、力学的強度に影響を与えなかった。一方で、0.2W/cm²の超音波刺激は、骨折2週時点の新生骨量および、2~4週時点の仮骨中の骨塩量を有意に増加させた。また、骨折1~3週時点において、0.2W/cm²群の仮骨サイズは小さい傾向にあった。骨折治癒の進行度をAllenスコアにより評価したところ、骨折後2週時点の0.2W/cm²群のスコアは対照群よりも高かった。0.2W/cm²群の骨の破断エネルギーは対照群よりも有意に増加した。

【考察】本研究結果から、LIPUSに該当する強度の超音波照射は骨折治癒に影響を与えないことが明らかとなり、LIPUSの治療効果を否定するメタアナリシスを支持する結果となった。一方で、0.2W/cm²の超音波照射は、骨折後2週時点の新生骨量と骨塩量を増加させ、骨折後早期の仮骨の石灰化を促進できることが示された。先行研究では、LIPUS照射により仮骨サイズが増大し、治癒が促進されることが示されている。一方で、高強度の超音波照射は、治癒過程全体で仮骨の肥大化は認められないが、結果的に骨の力学的強度の回復を促進したことから、LIPUSとは異なる機序で骨折の治癒期間を短縮できることが示唆された。

【結論】LIPUSよりも高強度の超音波は内軟骨性骨化を促進し、脆弱性骨折の治癒促進に有効である可能性が示された。

【倫理的配慮、説明と同意】本研究は神戸大学動物実験委員会からの承認を得た(承認番号:P210802)。

