

主 論 文

Indirect Calorimetry Measurement of Energy Expenditure Related to Body Position Changes in Healthy Adults

(間接熱量計による健常者姿勢変化とエネルギー消費の関係)

【緒言】

急性期におけるミオパチーや多発神経炎を含んだ ICU 関連筋力低下(intensive care unit acquire weaken: ICUAW)は、急性期合併症の一つとされ、高い発症率と死亡率であることが知られている。しかし近年、長期間にわたるベッド上での安静をさせないことや、早期からの離床やリハビリテーション(以下、リハ)は ICUAW の発症を減少させ、また改善させることが示されている。多くの研究により早期からの運動による有害事象発生率が 5%未満と報告されて以来、集中治療室(intensive care unit:ICU)での早期離床、リハが安全であるとされている。

しかし ICU における運動時の安全評価としては、呼吸数、経皮的酸素飽和度、心拍数、血圧、意識レベルや不整脈などのバイタルサインを観察する程度で、実際の患者負荷やリハ中の姿勢変化に応じた負荷量の変化は正しく評価されることはなかった。しかし、リハ中における臨床上の不安定性の発生に対し、安全に行えるタイミングや姿勢に関する報告はされていない。

従って本研究の目的は a)リハビリテーション中の姿勢とその変化による消費エネルギー量(energy expenditure :EE)の調査と b)間接熱量計を用い、健常者における消費エネルギー量と生理学的パラメーターの関係性を検討することとした。

【対象と方法】

本研究は岡山大学大学院医歯薬学総合研究科研究倫理委員会(承認 No.1198)の承認を得ており、ヘルシンキ宣言に従って実施された。すべての被験者は、書面によるインフォームドコンセントを提供した。

本研究の対象は成人男女 8 名、計 16 名。被験者のうち 13 名は WHO による標準体重(body mass index; BMI 18.5-24.9)であった。被験者の平均 BMI は 22.0 ± 2.3 で、そのばらつきは本研究において妥当であると考えられる。

本研究では間接熱量計(GE Healthcare S/5 Compact Monitor™)を用いた。間接熱量計

は、呼気から消費された酸素と、産生された二酸化炭素により経時的に EE を計測する機器である。間接熱量計により酸素消費量(oxygen consumption: VO₂)(ml/min)、二酸化炭素産生量(carbon dioxide production :VCO₂)(ml/min)、呼吸商(respiratory quotient: RQ)、呼吸数(respiratory rate: RR)(回/分)、一回換気量(tidal volume: V_T)(ml)、分時呼吸量(minute volume: MV)(ml/min)、EE(kcal/日)を測定。EE を求める計算式としては、広く知られている以下の Weir 式を用い算出した。

$$EE \text{ (kcal/day)} = 3.941 \times VO_2 \text{ (ml/min)} + 1.11 \times VCO_2 \text{ (ml/min)} \times 1.440$$

RR、V_T、MV などの呼吸に関連した値は、運動などの安全性を経時的に評価するための生理学的な指標として用いられている。これらの値を各被検者で 35 分間、10 秒毎に記録した。また記録は測定開始から 30 秒後に開始した。

測定は、静かな環境下で行った。間接熱量計のマスクは空気漏れを防ぐために 2 つのベルトで被験者に固定した。間接熱量計はもともと人工呼吸器に直接接続するように設計されているが、本研究においては人工鼻(Covidien DAR[™] filter)を経由しマスクに接続した。

測定プロトコルは、通常の離床動作で行われる姿勢を用いた。被験者は 5 分間の安静背臥位から開始し、その後 30 度のギャッジアップ(以下、30 度ギャッジ)を 7 分間、60 度のギャッジアップ(以下、60 度ギャッジ)を 7 分間、端坐位を 6 分間、立位を 5 分間行い、最終的に再度背臥位を 5 分間行い終了とした。各姿勢における EE の最大値を姿勢変更直後の 2 分間の平均値、安定値を姿勢変化直前の 2 分間の平均値とした。

連続変数は平均値±標準偏差で示している。統計解析は、Dunnett 法による多重比較を用い背臥位と他の姿勢を比較した。また姿勢変化による EE と呼吸に関連した値の関連性を Pearson の積率相関関係を用いた。P<0.05 を有意差有りとし、統計解析ソフトは JMP11.0 を用いた。

【結果】

平均年齢は 23.4±1.3 歳、平均 BMI は 22.0 の±2.3kg/m² であった。

姿勢間による EE 変化

姿勢変化直後に EE は徐々に増加し、その後最高値となった。そして、約 2 分後に背臥位時に近い値に戻った。最高値は、立位から再度背臥位へ移行直後に認められた。60 度ギャッジの安定値は背臥位の値とほぼ同等であった。背臥位と各姿勢間での EE を多重比較したところ、端座位最大値(1450±285 vs. 1682±346 kcal/day, P<0.01)、立位最大値(1450±285 vs. 1624±347 kcal/day, P<0.01)、最終背臥位最大値(1450±285 vs. 2004±519 kcal/day, P < 0.01)で有意差を認めた。その他の最大値と全ての安定値では有意差を認めなかった。

EE 変化と呼吸に関連した値の相関

各症例は 1 分毎の平均値として 35 ポイント表示されている。RR と EE 間には相関は認

めなかったが($r=-0.119$, $P<0.001$)、 V_T と EE ($r=0.609$, $P<0.001$)、 MV と EE ($r=0.576$, $P<0.001$)間に中等度の相関を認めた。 V_T と MV は EE の変化と同様に、立位から背臥位に移行した直後に最高値を認めたが、 RR は殆ど変化を認めなかった。

【考察】

今回の研究の目的の一つは、健常者に対し間接熱量計を用い急性期におけるリハを想定した姿勢変化と EE の関連を検討することである。その中で我々は、立位から背臥位に移行した際に EE が最高値となることを確認した。また他の結果として、 V_T もしくは MV により、リハ中の患者に対する身体負荷を確認することが出来る可能性があるということであった。

リハ中の重症患者の酸素消費量を検討した先行研究では、端座位は車椅子座位と比較し有意に酸素消費量が高く、関連性が認められたという結果であった。Berney らは、重症患者が背臥位から測臥位に姿勢変化すると、一時的に 39%の酸素消費量増加が起こると述べている。本研究では背臥位から端座位へ移行すると EE が 16%増加し、さらに立位から背臥位へ移行すると、開始時背臥位より 36%も増加するという結果であった。一方、背臥位から 30 度ギャッジ、60 度ギャッジへの姿勢変化で EE が変化しなかったことは、電動ベッドによる受動的な姿勢変化であったことが要因として考えられる。また EE 最大値は姿勢変化直後ではなく、変化後 30 秒から 1 分後に最大値となり、その後 2 分以内に背臥位時と同等の値に減少することが認められ、これまでの報告とも矛盾するものではなかった。これは、立位などの姿勢変化に伴い抗重力筋によるエネルギー代謝量の上昇が起こるが、筋肉でのエネルギー代謝には二酸化炭素の生成にわずかに時間を要することから説明できる。また、背臥位では横隔膜は上昇しており 1 回換気量も最小であり、これもエネルギー代謝量の増加に関係している。先行研究で慢性閉塞性肺疾患や心不全患者において、姿勢変化は呼吸パターンの変化をもたらすことが述べられている。リハ中において端座位や立位から背臥位に移行する際に、 EE 最大値となる可能性があることを理学療法士や看護師が認識しておく必要があるのではないと思われる。

間接熱量計が無いもしくは装着していない場合、Mehta らは EE の測定は二酸化炭素排出量の測定で十分であるとしている。また Osaka らは重度の頭部外傷患者において年齢、体重、心拍数、 MV から EE を予測できると述べている。本研究では、間接熱量計による測定において V_T もしくは MV は EE と適度に相関し、これらを継時的に観察することで適切かつ安全なリハを行うことが可能ではないかと考えている。また背臥位に移行した際に V_T および MV は最大値を示したことから、これらの値を観察することは、実際の患者負荷を予測するために有益ではないと思われる。

本研究の制限として、まず対象者が若い健常成人に限定していることがある。重症患者の離床やリハ中の EE 変化は、若い健常者の変化とは異なる可能性がある。次に本研究では一般的にリハ中に評価として用いられる、心拍数や血圧などの血行動態を調べることが

出来ていない。また、診断、重症度、合併症、投薬などの臨床情報は、ICUで検討を行う際には必要となる。従って本研究の方法のままではICUにおける人工呼吸器患者に対して用いることが出来ないと思われる。

これら制限はあるが、本研究は間接熱量計を用い健常者に対し姿勢変化によるEE変化を検討した最初の研究である。本研究により、立位から背臥位に移行した際にEEが最大値となったことから、临床上においてもリハ中などに背臥位に移行する際には注意をする必要がある。また V_T およびMVを測定することで安全なリハを行うことが出来る可能性がある。重症患者に対してのEE評価は今後の課題としてより一層の調査が必要である。

【結論】

我々は健常者に対し間接熱量計を用い、リハを想定した体位変換に応じたEEの継時的変化を報告した。EEの最大値は立位から背臥位に移行後に認められた。 V_T およびMVは早期からの離床やリハを行う際のリスクマネジメントとして有益であり、これらをモニタリングすることは患者に対し安全なリハを提供する一助になるのではないかとと思われる。