

2021年3月24日

報道関係者各位

国立大学法人筑波大学

運動は深い睡眠の質を向上させる ～ δ 波の安定性を検証する睡眠脳波の新しい解析法～

ヒトや動物を用いた、運動と睡眠との関係についての従来の研究から、運動後の深睡眠や δ （デルタ）波（睡眠要求や睡眠の深さに関連する脳波）成分の増加、眠りに入るまでの時間の短縮など、運動は睡眠に良い影響を与えると考えられてきました。しかしながら、研究成果が蓄積するにつれ、運動が良質の睡眠をもたらすという仮説と矛盾する報告も散見されるようになってきました。本研究では、運動が睡眠に好影響をおよぼす仕組みについて、標準的な睡眠判定と、深睡眠の安定性を脳波から定量化するエンベロープ（包絡線）に基づいた解析の両方を用いて、初めて調べました。

健常な成人男性を対象に、最大酸素摂取量の60%強度の運動を1時間行った場合、その後の睡眠において、主観的な睡眠の質には低下傾向が見られました。しかし、エンベロープ解析で深睡眠を評価したところ、 δ 波が大幅に増加し、また睡眠初期の深睡眠の安定性が強くなっていました。すなわち、比較的激しい運動は、主観的な睡眠の質は改善しないものの、客観的には、より安定した深い睡眠を誘導することが明らかになりました。また、運動することが、全体的な睡眠時間の短縮と、特に睡眠前半における深睡眠の強化や安定化をもたらすことが確認されました。このことから、運動を行うことにより、質の良い睡眠がとれ、より短時間で効率よく睡眠要求を満たすことができる可能性が示唆されました。

研究代表者

筑波大学国際統合睡眠医科学研究機構（WPI-IIIIS）

VOGT Kaspar E. 准教授

研究の背景

覚醒時における行動のうち、睡眠に影響するものの一つに運動があり、運動後に快眠できることを、我々は日常的に経験しています。実際に、ヒトや動物を用いた従来の研究では、運動後に睡眠の量が増加することが報告されています。一方で、ヒトにおいて、運動負荷や運動時間の違いによる睡眠の量や質への影響を明らかにした研究成果が蓄積することに伴い、運動が睡眠の質に対して否定的あるいは負の効果を示すという、報告が散見されるようになりました。

睡眠の質については、これまで、睡眠脳波を目視によって、30秒毎にN1（浅睡眠）、N2、N3（深睡眠）、REM（レム睡眠）という4つの睡眠ステージで判定し、各ステージの時間の長さで評価されてきました。この方法は50年以上にわたって睡眠判定の標準として用いられていますが、目視という半定量的な手法を用いるため、睡眠の質を十分に評価できているとは限らず、再現性にも問題があります。このため、睡眠の質を評価する新たな解析手法を導入する必要があると考えられます。

その一つとして、近年、脳波波形のエンベロープ(包絡線)^{注1)}を用いた、新しい脳波解析の手法が提案されました。脳波の特定の周波数成分におけるエンベロープの変動係数(Coefficient of variation of envelope; CVE)を求めることで、その周波数域での振動の経時的な変化や安定性を評価することができます。より振動が安定している場合はCVEが低値を、不安定な場合は高い値を示します。

良い睡眠(睡眠の深さ)の指標として、深睡眠時に特徴的な δ 波^{注2)}があります。エンベロープ解析により δ 波の安定性や持続性を指標化することで、運動が睡眠に及ぼす効果を定量的にかつ多角的に評価することができます。そこで本研究グループは、従来の睡眠ステージや睡眠脳波の周波分析に加えて、新しいツールとして、エンベロープ解析による δ 波の安定性評価を行い、運動が睡眠におよぼす効果を検討しました。

研究内容と成果

本研究では、覚醒時の運動が睡眠時脳波におよぼす影響について、今まで行われていなかった詳細な脳波解析を基に、世界で初めて、深睡眠の安定性の評価を試みました。

睡眠に問題がない健常な成人男性を9名を募集し、単発性の高強度運動がその後の睡眠におよぼす急性効果を、ランダム化クロスオーバー試験^{注3)}で調べました。睡眠への影響は、エネルギー代謝、深部体温、睡眠質問票による主観的な睡眠の質、睡眠段階スコアリング^{注4)}、脳波のスペクトラム分析^{注5)}および δ 波のエンベロープ解析による客観的な睡眠の質、の6項目によって評価しました。その結果、運動によって睡眠中のエネルギー消費は増加しましたが、深部体温には差はないことが分かりました。また、運動によって睡眠の質の主観的評価が改善することはなく、客観的な評価においても深い睡眠時間は減少していました。しかし、睡眠脳波の詳細な分析では、深睡眠の δ 波強度が大幅に増加していました。また δ 波のエンベロープ解析により、睡眠前半において深睡眠の安定性が向上していることを見いだしました。

本研究により、激しい運動は、睡眠の質の主観的な改善及び客観的な深い睡眠時間の増加にはつながらないものの、より安定した深い睡眠が誘導されている、すなわち、運動を行うことで、質の良い睡眠を効率的に獲得できる可能性が示唆されました(参考図)。

今後の展開

本研究では、運動生理学や睡眠医学との連携により、これまで解明されていなかった運動後の快眠、つまり主観的な睡眠評価の改善の仕組みを、新たな手法を用いて多角的に脳波活動を評価することから明らかにしました。

運動が睡眠にもたらす効果が明らかになれば、睡眠の改善に向けた運動方法を提案することが可能となります。また、運動が睡眠を促進する仕組みが分かると、運動の効果を最大化するための様々な介入方法や、運動に代わるサプリメントなどの開発にもつながり、健康増進への貢献が期待されます。

本研究によりその有効性が示された、 δ 波のエンベロープ解析という新しい手法を、今後、既存のデータも含めた様々なデータに適用することにより、さらに眠りの謎が解明されると考えられます。

参考図



図 日中の最大酸素摂取の 60%強度で 1 時間運動を行うことにより、総じて、睡眠時間の短縮のみならず、深睡眠の指標である δ 波が睡眠前半に集中して大幅に増加し、安定性が強化された。これにより運動を行うことで、質の良い睡眠がとれ、より短時間で効率よく睡眠要求を満たせる可能性が示唆された。

用語解説

1) エンベロープ(包絡線)

信号の曲線群のすべてに接するような曲線のこと。振幅のゆっくりした変化やピークの検出に用いられる。

2) δ 波

ノンレム睡眠中に観察される 0.75-4 Hz のゆっくりとした脳波成分のこと。深い睡眠時にはこの成分が増加することが知られており、睡眠要求や睡眠の深さの指標として用いられている。

3) ランダム化クロスオーバー試験

運動を行うこと以外は公平になるように、被験者の運動試行とコントロール試行を無作為に分け、その実験的操作の影響や効果を測定し、明らかにするための比較試験のこと。無作為に割り付けることにより両試行が均等になることが見込まれるため、両試行の順番が結果に影響を及ぼす可能性が少なく、非ランダム化比較試験よりも高いエビデンスレベルであると考えられる。

4) 睡眠段階スコアリング

睡眠中の脳波測定から、1 エポック (30 秒) 毎に、ノンレム睡眠段階 1 (N1、浅睡眠)、ノンレム睡眠段階 2 (N2)、3 (N3、深睡眠)、REM (レム睡眠) や覚醒の睡眠段階を判定し、各睡眠段階時間の長さによって睡眠潜時、睡眠効率などを評価する方法。

5) 脳波のスペクトラム分析

脳波を周波数帯ごとに分け、各周波数成分を定量化する解析方法。主に高速フーリエ変換を用いて、脳波という時系列信号を周波数スペクトラムという周波数系列の数値に置き直す分析である。

研究資金

本研究は、日本学術振興会・科学研究費補助金；基盤 B (20H04120)の研究プロジェクトの一環として実施されました。

掲載論文

【題 名】 Exercise Improves the Quality of Slow-Wave Sleep by Increasing Slow-Wave Stability.

(運動は徐波睡眠の安定性を強化することにより深睡眠の質の向上させる)

【著者名】 Insung Park, Javier Diaz, Sumire Matsumoto, Kaito Iwayama, Yoshiharu Nabekura, Hitomi Ogata, Momoko Kayaba, Atsushi Aoyagi, Katsuhiko Yajima, Makoto Satoh, Kumpei Tokuyama, Kaspar E. Vogt

【掲載誌】 Scientific Reports

【掲載日】 2021 年 2 月 24 日

【DOI】 10.1038/s41598-021-83817-6

問い合わせ先

【研究に関すること】

VOGT Kaspar E. (フォークト・キャスパー)

筑波大学国際統合睡眠医科学研究機構 (WPI-IIIS) 准教授

URL: <https://sakaguchi-lab.org>

【取材・報道に関すること】

筑波大学国際統合睡眠医科学研究機構 (WPI-IIIS) 広報担当

TEL: 029-853-5857

E-mail: wpi-iiis-alliance@ml.cc.tsukuba.ac.jp