

局所筋の酸素消費を非侵襲的に 計測する光ウェアラブルセンサ

明治大学 理工学部 電気電子生命学科
専任教授 小野 弓絵

はじめに：酸素摂取と健康長寿

- 全身の健康は運動機能に依存する
- 最大酸素摂取量 $\dot{V}O_2\text{max}$ [ml/kg/分]
≡ 全身持久力の指標

筋がどれだけ酸素を取り込み、
使うことができるか



限界までの運動と呼気ガス分析が必要！

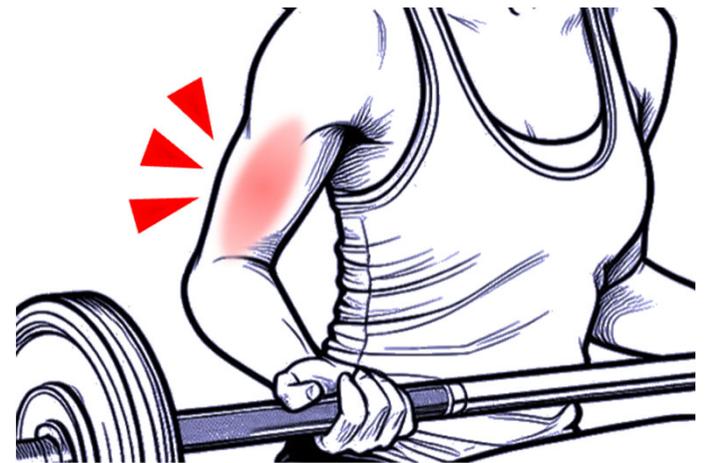
- × 高齢者や呼吸器・循環器患者には適用不可
- × 装置が大型で日常環境では使用不可

$\dot{V}O_2$ max: maximal oxygen consumption per minute

はじめに：酸素摂取と健康長寿

● 局所筋の酸素消費率 MRO_2

- 一定負荷運動時において
疲労や加齢により増大
- 安心, 安全な筋機能評価



- しかし従来法では測定法および技術的限界（後述）から、実用的な MRO_2 計測への応用が難しかった。

新技術の概要

- 光プローブを皮膚表面に装着するだけで、全身健康状態の指標となる**局所筋組織**の血流速度、酸素飽和度、**酸素消費率**を同時計測できる光センサ。
- 安静状態だけでなく、運動中の計測も可能。



従来技術とその問題点

既存の酸素消費率計測技術には、

①呼気ガス分析法および②近赤外分光法(NIRS)を用いる方法等があるが、

①最大強度運動を実施不可能な対象の存在

①装置の運搬性の問題

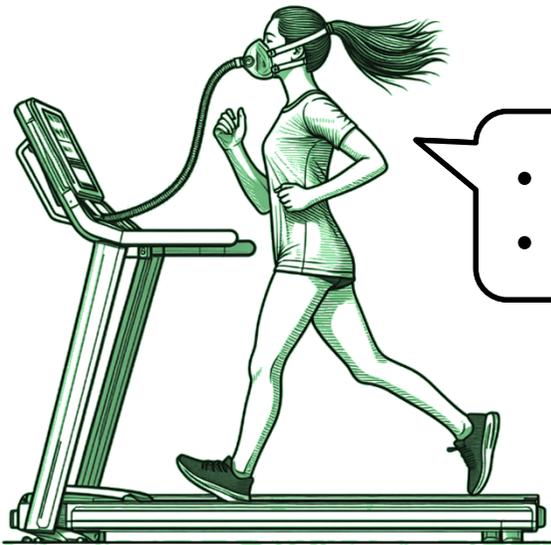
①②連続計測が不可能

②計測の侵襲性（痛み）

等の問題から、利用が制限されている。

従来技術とその問題点

① 呼気ガス分析法

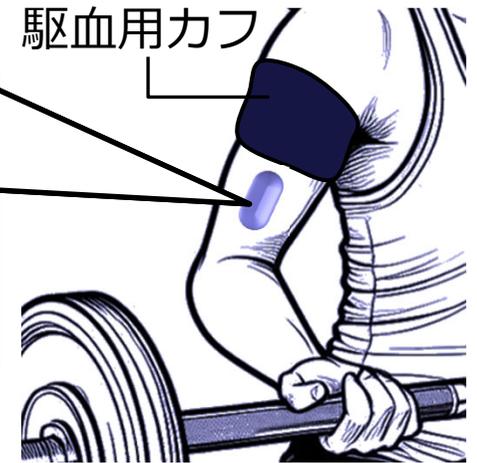


- 限界までの運動
- 呼気ガス分析

- × 高齢者や呼吸器・循環器患者には適用不可
- × 装置が大型

② 近赤外分光法(NIRS)

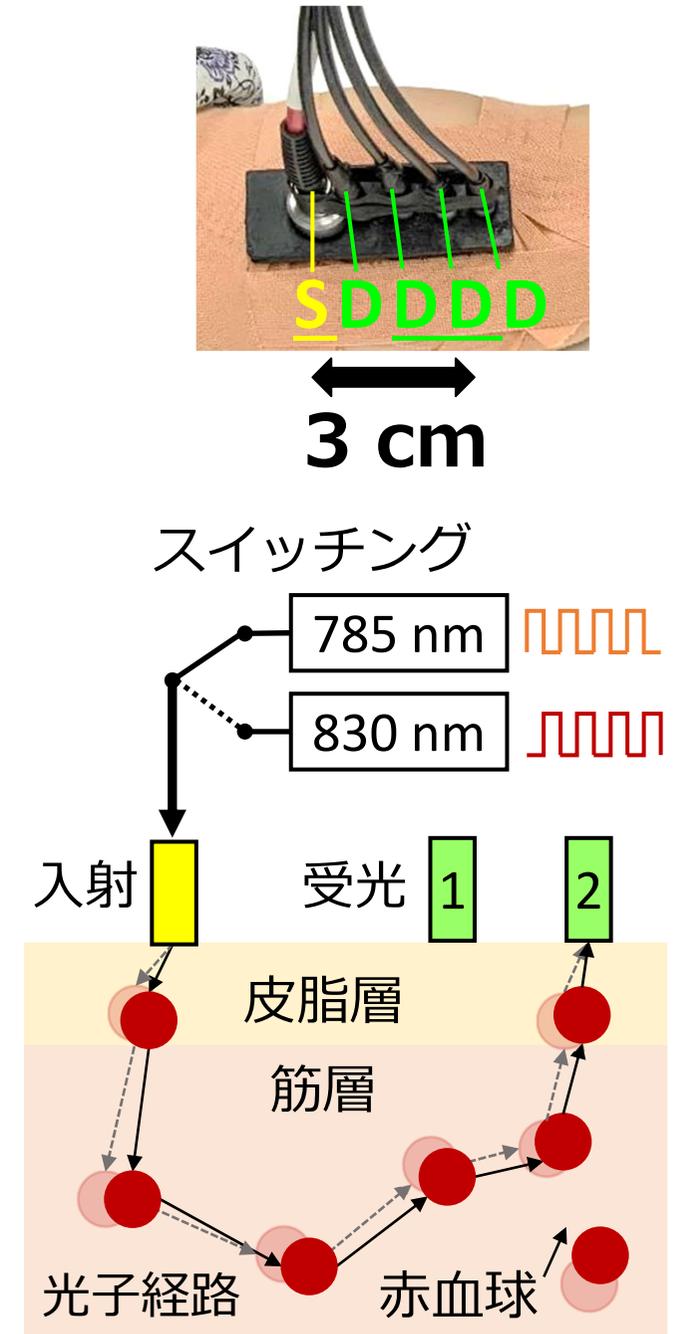
- NIRSセンサ
- 運動直後に駆血
- 組織酸素飽和度の低下量から酸素消費率を計算



- 局所筋計測が可能
- 運動強度を任意に設定可能
- ウェアラブル
- × 運動を中断する必要性
- × 駆血時の痛み

新技術の詳細

- 組織内の赤血球による光拡散現象から血流量変化を求める拡散相関分光法(DCS)と光吸収現象から酸素飽和度を求める近赤外分光法(NIRS)を1つのデバイスに融合



新技術の詳細

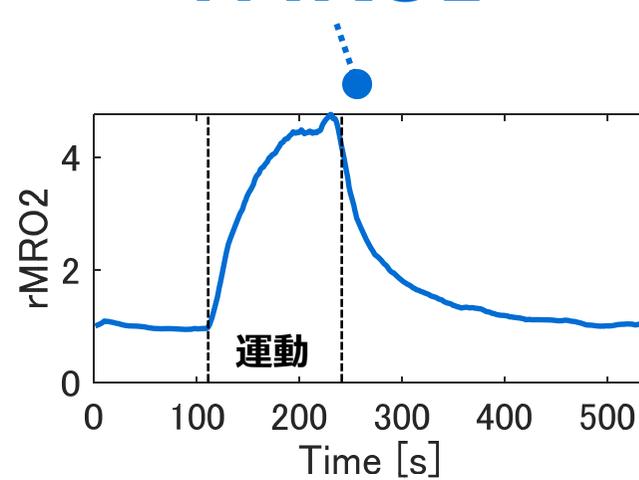
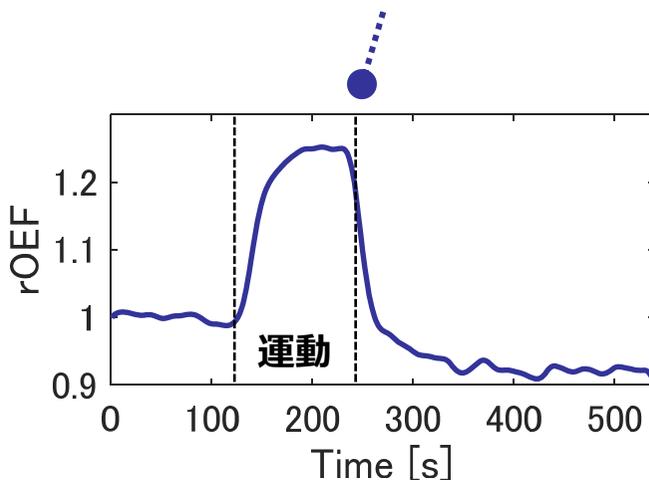
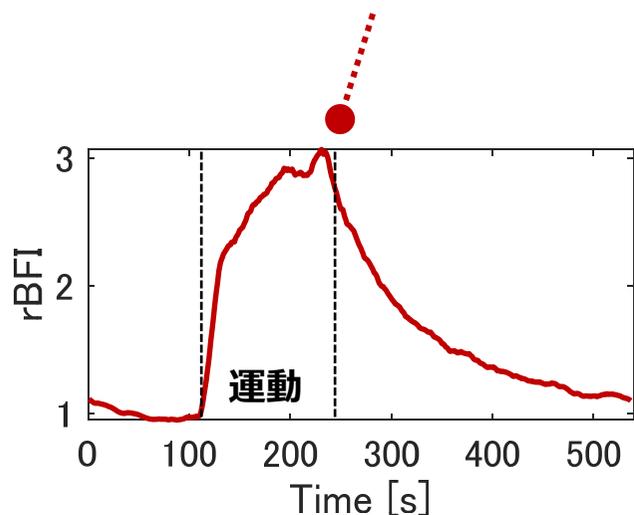
拡散相関分光法
筋血流量変化 rBFI

×

近赤外分光法
酸素飽和度変化→
酸素摂取量 rOEF

=

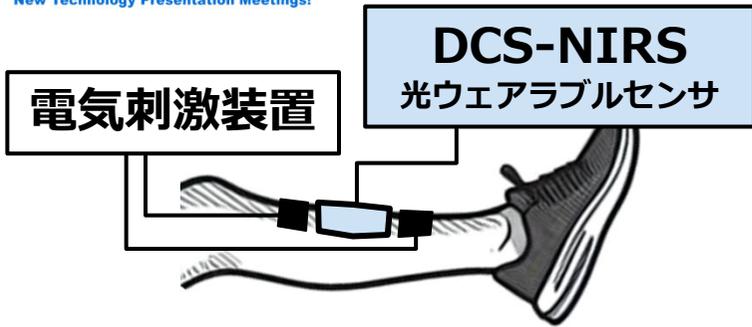
局所筋の
酸素消費率
rMRO₂



ハンドグリップ運動時
筋酸素消費率の測定例

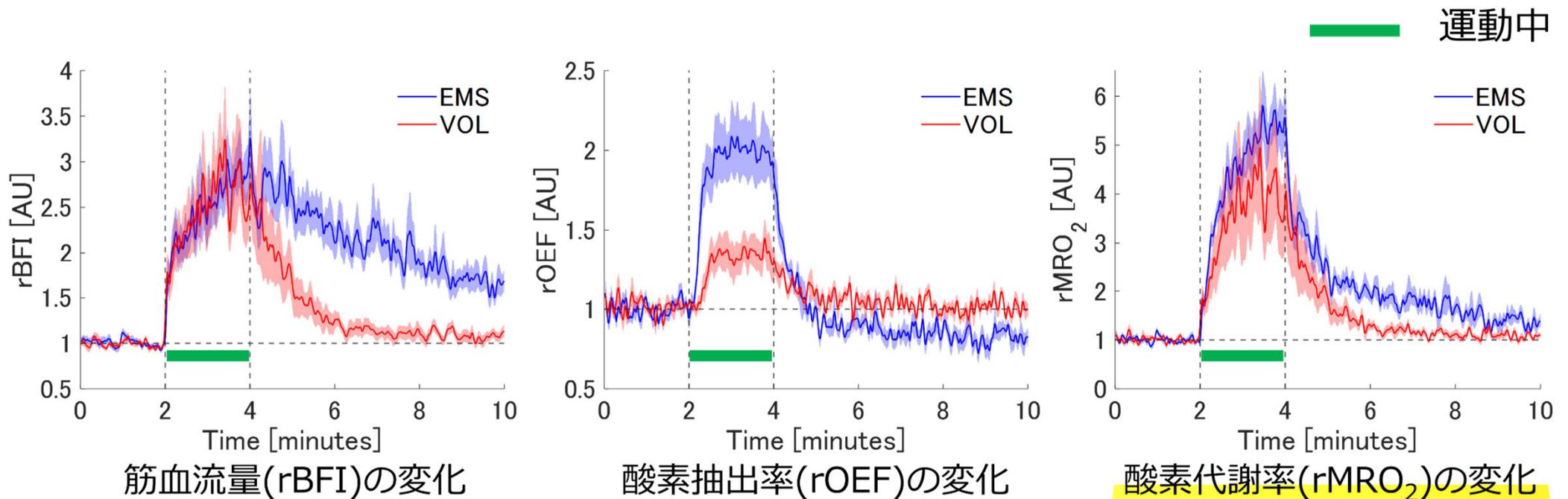
新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった、**モバイル性・完全非侵襲な連続計測・高齢者や慢性疾患患者の筋機能評価**を実現した。
- カフレス計測が可能となったため、従来は四肢末梢のみの使用に限られていたが、呼吸筋や僧帽筋など、**体幹部の筋計測も可能**となった。
- **血流情報と酸素飽和度**の両情報を得られるため、酸素代謝状態の変化をもたらした要因を明らかにできる（血流量または酸素摂取量の変化）。



適用事例

- 筋電気刺激によるリハビリテーション効果
- 筋電気刺激による運動では、随意運動よりも筋血流量および酸素消費が増加



想定される用途

- 加齢による筋の健康状態評価
- 理学療法・運動介入の効果測定
- アスリートや作業者の筋疲労の定量評価
- ICUおよび術中の末梢循環状態モニタリング

厚労省「循環器病対策推進基本計画」への貢献

- 2040年までに健康寿命の3年以上の延伸
 - 死亡率の減少

実用化に向けた課題

- 血流量および酸素飽和度の計測精度はそれぞれ単独の計測機器との測定値との相関が確認され、精度検証はほぼ終了している。
- 実用化に向けて、レーザー光源および光子カウントモジュールの小型化、ファイバーレス化が課題となる。

企業への期待

- 光学機器開発の技術・薬事承認取得経験を持つ企業へのライセンスングまたは共同研究を希望。
- 学会等では、**運動生理学分野、救急医療分野**からの共同研究依頼が多い。上述の分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。
- エルゴノミクス研究 (**筋疲労測定**) 機器としても応用可能である。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は光センサによる生体深部の筋酸素代謝の定量評価を可能とするものである。
- **筋機能を可視化**することで、ヘルスケア、医療、スポーツ科学に関わる幅広い製品開発に貢献できると考えている。
- 20年以上の生体機能計測研究の経験から、各企業の製品コンセプトに沿った技術指導や共同開発も受け入れ可能である。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 計測装置、計測方法及びプログラム
- 出願番号 : 特願2022-139865
- 出願人 : 学校法人明治大学
- 発明者 : 小野弓絵、中林実輝絵

お問い合わせ先

明治大学 研究推進部
生田研究知財事務室

T E L 044-934-7639

F A X 044-934-7917

e-mail tlo-ikuta@mics.meiji.ac.jp