

〈原著論文〉

運動単位の発火特性および筋収縮特性の日内変動

廣野哲也^{* **} 井川快斗^{*} 奥平柁道^{*} 竹田良祐^{*} 西川太智^{***} 渡邊航平^{*}

Effects of time-of-day on motor unit firing properties and muscle contractile properties

Tetsuya HIRONO^{* **}, Kaito IGAWA^{*}, Masamichi OKUDAIRA^{*},
Ryosuke TAKEDA^{*}, Taichi NISHIKAWA^{***}, Kohei WATANABE^{*}

Abstract

Highest muscle strength has been found in evening or night, but its neuromuscular mechanisms is not fully understood To avoid taking care of interindividual variability, this study was conducted on a single subject The purpose of the present study was to investigate the effect of time of day on motor unit firing properties and muscle contractile properties in a human as a case study One active male (40 years-old) performed maximal voluntary contraction (MVC) and submaximal ramp-up contractions of isometric knee extension at 10:00, 13:30, 17:00, 20:30 in a day At these times, high-density surface electromyography (HDSEMG) of vastus lateralis muscle and electrically-elicited contraction force of quadriceps femoris were measured From HDSEMG, motor unit firing rate (MUF_R) and recruitment threshold (MUR_T) were calculated Higher MVC were found in 17:00 and 20:30 than 10:00 and 13:30 MUF_R at 17:00 and 20:30 were significantly higher than that at 10:00 ($p < 0.05$) MUR_T at 17:00 was significantly lower than those at 10:00 and 20:30 ($p < 0.05$) Electrically-elicited contraction force increased from 10:00 to 13:30 and decreased from 13:30 to 17:00 and from 17:00 to 20:30 The findings of the present study suggest that neuromuscular mechanisms contributing force production have circadian rhythm and central nervous and peripheral muscle might be reversal relationship

緒言

ヒトの体内には多数の生理学反応が日内で変動している。例えば、体温¹⁾や心拍数、血圧^{2,3)}などには日内変動が存在し、これらは概日リズムと呼ばれる。ヒトが動作を行う、つまり筋を収縮させる強さやそれに伴う競技パフォーマンスに至っても生理学的な影響を大いに受けるため^{4,5)}、筋力や競技パフォーマンスに日内変動が生じる^{6,7)}。

競技パフォーマンスや筋力の日内変動に着目した先行研究では、水泳のタイムが夕方に最も良くなること⁸⁾や、筋力は夕方が朝よりも有意に高く⁹⁾、個人差はあるものの日内変動が生じている。パフォーマンスを最大限高めるためには、筋力の日内変動を把握することが必要になるかもしれない。さらに過負荷の法則を考慮すると、トレーニング効果を最大限にするために

*中京大学スポーツ科学部、**日本学術振興会特別研究員PD、***中京大学大学院スポーツ科学研究科

は大きな負荷設定が必要であることから、筋力やパフォーマンスの日内変動を把握することができれば、時間帯に合わせた練習やトレーニング戦略の一助になる可能性がある。

筋力を発揮するためには、脳や脊髄などの中枢神経系からの指令を受け、末梢の組織である筋がその指令を受けることで収縮し、関節運動が生じることで動作を遂行する。つまり、筋力発揮やパフォーマンスを遂行する上で、中枢神経系の活動レベルと、末梢にある筋の神経入力に対する反応性（収縮力）が重要となってくる。筋力にはこれら神経要因と、筋の大きさなどを包含した筋の形態要因によって決定されるが、日内変動に限っては形態的な変動は生じにくく¹⁰⁾、神経生理学的な変動に対応して筋力やパフォーマンスが変動することが考えられる。

中枢神経活動に着目すると、筋力が夕方に向上一方で、筋電図振幅値は夕方に低く、中枢からの入力に対して筋力が大きいことを示唆している¹¹⁾。つまり、中枢からの入力も、末梢で受ける筋も、ともに日内で変化している可能性がある。近年、高密度表面筋電図を用いることで、神経要因の詳細な情報である個々の運動単位の動員閾値と発火頻度を算出することが可能である^{12, 13)}。電気刺激で誘発された張力は中枢神経系の影響を受けず、末梢組織である筋の状態のみを評価することが可能である¹⁴⁾。

日内変動には個人差が大きいため^{6, 8, 9)}、本研究は健康成人1名を対象とし個人間のばらつき

を排除した事例研究を実施した。本研究の目的は、高密度表面筋電図と電気刺激による誘発張力を評価することで、中枢神経系の興奮性および筋の収縮特性の日内変動を明らかにすることである。筋力を構成する神経系の日内変動が明らかになれば、時間帯に適したトレーニング戦略を提案する知見が期待できる。

方法

対象者

本研究の対象者は、活動的な健康成人男性1名であった（年齢40歳；身長183.4cm；体重88.7kg）。対象者には本研究の目的、測定内容、実験の安全性およびいつでも実験を中止できることを書面で説明したうえで、実験に参加する同意を書面にて得た。なお、本研究は中京大学研究倫理委員会によって承認された（承認番号：2022-001）。

測定方法

測定の全体像

本研究では、神経筋機能の日内変動について検討するため、3時間30分ごとの間隔で4回の測定を行った（図1）。測定時間は朝（10時00分）、昼（13時30分）、夕（17時00分）、夜（20時30分）とした。

筋力測定

筋力測定には、膝伸展筋力計（竹井機器工業株式会社、東京、日本）を使用した。対象者は

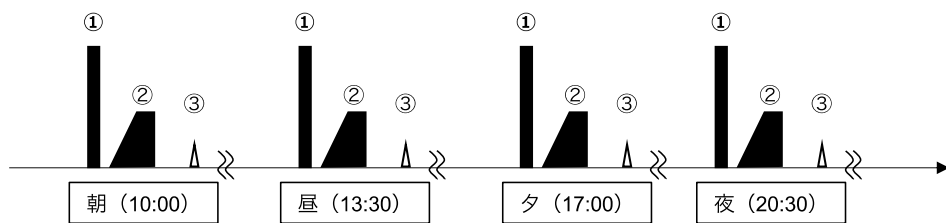


図1 測定全体の概要。3時間30分の測定間隔で、4回の測定を実施した。①最大筋力の測定。②最大下ランプ課題。③誘発張力の測定。

筋力計に座り、股関節と膝関節が90度となる姿勢で、足部をアタッチメントに装着された。対象者は、標準化されたウォームアッププロトコル(3×50%、2×70%の最大下等尺性収縮)を実施した後、等尺性膝伸展最大筋力(MVC)測定を2~3回行った。最大筋力の測定の際は、2-3秒かけて発揮筋力を徐々に増加させ、次の2-3秒で最大努力をするよう指示が与えられ、測定者から口頭での励ましがあった。

次に対象者は、3つの発揮筋力(30、50、70% MVC)を目標としたランブ課題を実施した。各ランブ課題は、ベースラインから各目標発揮筋力(MVCの約2および3%/秒)まで15、17、14秒の漸増ランブ局面と、15、10、5秒の維持局面で構成されていた。なお、70% MVCまでのランブ課題は、4つの測定時間を通じて課題中に取得される運動単位の数が少なかったため、本研究における運動単位活動の評価には、50% MVCまでのランブ課題を分析対象とした。また、30% MVCまでのランブ課題は信号処理における運動単位フィルターの作成にのみ使用された¹⁵⁾。各筋力発揮の間には十分な回復時間(最低90秒)が設けられた。

発揮筋力の信号は、筋力計に固定されているフォーストランスデューサー(LU-100KSE;協和電子工業、東京、日本)によって2,000Hzで収集され、16bitマルチチャンネルアンプ(Sessantaquattro, OT Bioelettronica, Torino, Italy)を用いてデジタルデータに変換された後、処理ソフトウェア(OTBioLab+, OT Bioelettronica, Torino, Italy)を用いて高密度表面筋電図と同期された。なおMVCは、測定された筋力の値とモーメントアーム(膝蓋骨中心からフォーストランスデューサーまでの距離)との積からトルクとして算出した。

高密度表面筋電図

ランブ課題中の高密度表面筋電図は、直径1mm、電極間距離8mmの64個(13行、5列、

遠位端の1個が欠損)からなる電極(GR08MM1305, OT Bioelettronica, Torino, Italy)で外側広筋から記録された。電極の貼付位置は、膝蓋骨外側近位端から大転子までの直線を基準線とし、電極グリッドの3列目が基準線と一致し、7行目の電極が基準線の midpoint と一致するように、各測定時間で統一して貼付された。装着前に、電極を貼付する皮膚を注意深く剃り、アルコールで洗浄した。アース電極と電極ストラップ(WS2, OT Bioelettronica, Torino, Italy)を脛骨近位端に固定した。それぞれの高密度表面筋電図は単極信号として記録し、発揮筋力の信号と同じ16ビットマルチチャンネルアンプ(Sessantaquattro, OT Bioelettronica, Torino, Italy)でデジタルデータに変換した。これらの信号は、2,000 Hzでサンプリングされ増幅された後(×256)、バンドパスフィルタ(10 - 500 Hz)によってフィルタリングを行い、処理ソフトウェア(OTBioLab+, OT Bioelettronica, Torino, Italy)にて記録された。

運動単位発火頻度および動員閾値

すべての単極信号は、2次バンドパスバターワースフィルタを用いて20 - 500Hzの間でフィルタリングされた。高密度表面筋電図はDEMUSEソフトウェア(ver.5.01)によるConvolution Kernel Compensation (CKC)法を用いて分解分析を行った^{13, 16)}。同定された運動単位は、DEMUSEソフトウェア(ver.5.01)を用いて初回の高密度表面筋電図から運動単位識別フィルターを計算し、その後3回の各時点で測定された高密度表面筋電図信号に適用し追跡を行った。追跡した運動単位は、相互相関解析により活動電位波形との類似性を評価した。この方法は、様々な条件下で個々の運動単位の発火パターンを非常に効率的に追跡することができる^{17, 18)}。

本研究では、50% MVCまでのランブ課題のみを分析に使用した。50% MVCまでの漸増ランブ局面において、35 - 45% MVCで力を発

揮している区間を同定し、この区間で見られる運動単位発火頻度の中央値を算出した。この中央値を個々の運動単位の特性を反映する代表値として適用し、さらなる解析に使用した。また、各運動単位が発火し始めた瞬間の発揮筋力を動員閾値として定義した。

予備データとして、事前に同日同時間帯の繰り返し測定を実施し、2回のランブ課題測定から取得された5つの運動単位の動員閾値および発火頻度の絶対差はそれぞれ $1.3 \pm 0.7\%$ MVC および 0.31 ± 0.29 pps であり、高い再現性が確認された。

耳内温

体温の日内変動を評価するため、本研究では耳内温を連続測定型耳式体温計（ニプロ CE サーモ 2、NIPRO、大阪、日本）を用いて測定した。

筋電気刺激誘発張力

筋収縮特性の日内変動を評価するため、電気刺激時の膝伸展誘発トルクを測定した。大腿四頭筋を電気刺激装置（DS7AH, Digitimer, Hertfordshire, UK）を用い、2つの電極（6cm）で刺激した。先行研究に倣い^{18, 19)}、大腿四頭筋近位部と遠位部を経験豊富な測定者が注意深く触診し、電極が大腿四頭筋表層部（大腿直筋、外側広筋、内側広筋）を広く覆うように貼付した。なお、他の筋の表層部を覆う箇所については絶縁シートを電極に貼付した。誘発トルクの測定は、電気刺激の電流を 50mA ずつ増加させた。力がそれ以上に上がらなくなる電流値で発揮される力を、電気刺激誘発張力とした。

統計解析

各時間において、高密度表面筋電図および4時点の追跡解析によって検出された各運動単位の発火頻度および動員閾値の平均値を算出した。発火頻度および動員閾値の統計解析にはフリードマン検定を用いた。その後の検定にはボンフェローニ法を用いて各時間における発火頻度および動員閾値の変化を検討した。有意水準は $p < 0.050$ とした。

結果

表1に各時間における最大筋力、誘発張力、耳内温を示す。最大筋力は朝から昼にかけて低下したが、夕に最大値を示した。誘発張力は昼に最大値を示し、以降は低下した。耳内温は大きく変化しなかった。

高密度表面筋電図法および4時点の追跡解析によって12個の運動単位が検出された。図2に各時間における運動単位発火頻度を示す。発火頻度は朝に比べて夕および夜に有意に増加した（図2. 朝 vs. 夕および vs. 夜、10.6 vs. 11.4 pps および vs. 11.5 pps, $p = 0.001$ および <0.001 ）。また、昼に比べて夜に有意に増加した（図2. 昼 vs. 夜、11.0 vs. 11.5 pps, $p = 0.027$ ）。

図3に各時間における運動単位動員閾値を示す。動員閾値は朝に比べて昼および夕に有意に低下した（図3. 朝 vs. 昼および vs. 夕、26.8 vs. 23.6% MVC および vs. 21.8% MVC, $p = 0.009$ および <0.001 ）。また、夕に比べて夜に有意に増加した（図3. 夕 vs. 夜、21.8 vs. 24.7% MVC, $p = 0.027$ ）。

表 1. 各時間の最大筋力、誘発張力、耳内温の変化

	朝 (10:00)	昼 (13:00)	夕 (17:00)	夜 (20:30)
最大筋力 (Nm)	243.53	240.10	250.39	246.96
誘発張力 (Nm)	41.5	45.3	42.4	41.1
耳内温 (°C)	36.6	36.6	36.5	36.5
室温 (°C)	25.5	25.6	26.1	26.8

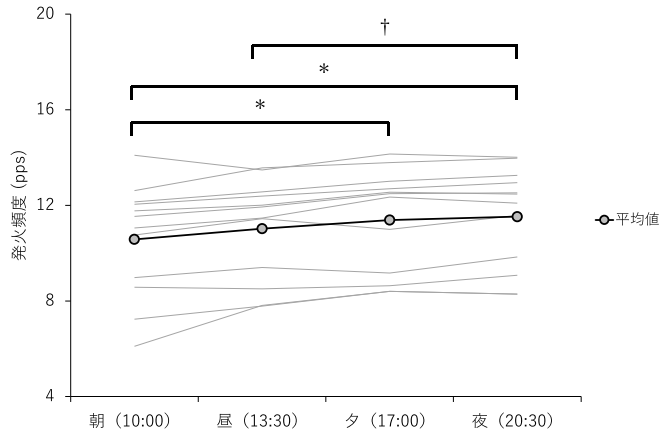


図2 各時間における運動単位発火頻度の変化 実線は運動単位ごとの発火頻度を示し、円は平均値を示す。
* vs. 朝 (10:00) < 0.05、† vs. 昼 (13:30) < 0.05

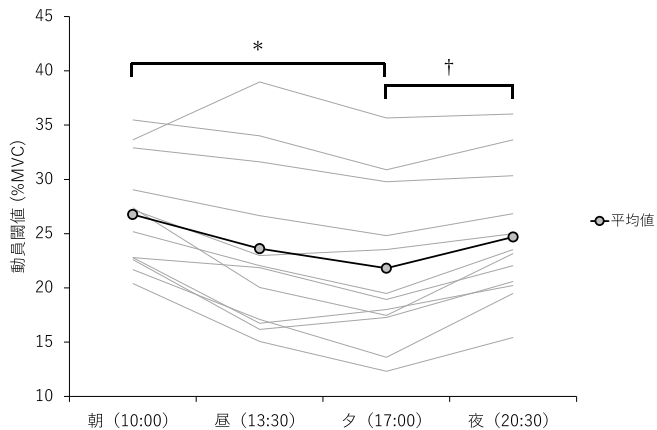


図3 各時間における運動単位動員閾値の変化 実線は運動単位ごとの動員閾値を示し、円は平均値を示す。
* vs. 朝 (10:00) < 0.05、† vs. 夕 (17:00) < 0.05

考察

本研究では運動単位の発火頻度および動員閾値の日内変動を明らかにするため、4つの時間帯における神経筋活動の測定を実施した。その結果、運動単位の発火頻度は夕や夜が高く、運動単位の動員閾値は夕に低下することが明らかとなった。これらの結果は、中枢神経の活動特性には日内変動が存在することを示唆している。また、最大筋力や誘発張力の日内変動の結果から、中枢神経の活動特性は夕や夜に筋力発揮に対して有利な状態にあり、末梢筋の状態と

相互に関連していることも推測された。

最大筋力の日内変動は多くの先行研究で調べられており、その多くは夕や夜に最高値が観測されると報告している^{6, 9, 20}。本研究において記録された最大筋力は、朝から昼に大きな変化はなく、昼から夕に上昇した後、夜にはその値が少し減少したものの維持されていた。この結果は、多くの先行研究^{6, 9, 20}で報告されている結果を支持するものであった。

本研究では、運動単位の発火頻度や動員閾値

を絶対的に同一の発揮筋力における最大下筋力発揮時に測定し、発火頻度が朝や昼に比べて夕や夜に有意に上昇することや動員閾値が朝や夜に比べて夕に有意に低下することを明らかにした(図2および3)。Callardらは最大筋力発揮時における大腿四頭筋の筋電図振幅値が朝や昼に比べて夕や夜に高くなることを報告している²¹⁾。表面筋電図の振幅値には、運動単位の発火頻度や動員数が反映されることから、本研究で観察された運動単位の発火頻度の増加や動員閾値の低下は、この先行研究の結果を支持するものであった。

疲労などが生じる運動課題を実施した際には同一筋力発揮時における運動単位の発火頻度の増加や動員閾値の低下は、興奮収縮連関における効率の低下や新しい運動単位の動員を促進する生理応答として解釈される^{18, 22)}。一方で、本研究で用いたような疲労を伴わない運動課題においては、運動単位の発火頻度の増加や動員閾値の低下は、上位中枢の高い興奮性やより多くの運動単位の動員により、より大きな筋力を発揮することに寄与しうる状態であったと考えられる。この結果は、最大筋力が夕に最も高いという本研究の結果(表1)によっても説明できる。

神経筋系において、上位中枢の入力は運動野の興奮性の高さがその制御因子となる。これまで、多くの研究において、筋力トレーニングの実施によって筋力発揮中の表面筋電図の振幅値が増大することが報告されている^{6, 9, 20)}。特に、トレーニング初期における筋肥大などの筋の形態的变化を伴わない表面筋電図の振幅値の増大は、運動単位の発火頻度の増大、連続発火の発現、運動単位間の同期的発火によって説明されている²³⁾。近年の研究では、本研究同様に同じ運動単位を追従し、4週間の筋力トレーニングによって発火頻度が増加することが報告されている²⁴⁾。また、この研究では、同一の運動単位における動員閾値がトレーニング介入後に低下するという現象も報告されている。このようなトレーニングに対する適応は運動野による脊髄

運動ニューロンのより効果的な制御がなされたことによって説明されている²⁴⁾。本研究において夕や夜に観察された運動単位の発火頻度の増加や動員閾値の低下も、このような神経筋系の筋力制御過程での変化によって生じており、筋力発揮に対してはそれを向上させることに貢献していたと推測される。Lagerquistらは、脊髄内における運動ニューロンプールの興奮性を反映する脊髄反射を朝と夕にヒラメ筋で測定し、朝が夕に比べて低い値を示すことを報告している²⁵⁾。本研究では脊髄反射を測定していないものの、運動単位の活動特性の日内変動には脊髄運動ニューロンプールの興奮性が関与していたと推測される。

運動単位の活動特性は、上位中枢からの入力に加え、末梢筋の収縮特性によっても変化する^{18, 26)}。Pearsonらは大腿四頭筋における筋や腱の張力特性を朝と夜で比較し、電気刺激による誘発筋力は有意に変化しないものの、誘発張力が最大に至るまでの時間が夜に遅延することを報告している²⁷⁾。本研究においても類似した手法において、誘発筋力が夜に低下していた(表1)。したがって、末梢筋の収縮特性は夜にかけて低下し、筋力発揮に対しては不利な状態にあることが推測される。中枢神経の活動特性と末梢筋の収縮特性との間には日内変動において相反する動態を示すことが指摘されている^{21, 28)}。本研究では、運動単位の発火頻度の増加および動員閾値の低下が夕および夜に観察されたことから、先行研究で指摘されている中枢神経の活動特性と末梢筋の収縮特性との相反性を支持する結果が得られたと言える。我々の研究室では、短期間における減量が骨格筋量の低下を生じさせ、それと相反する形で運動単位の発火頻度が上昇するという現象を報告している²⁹⁾。本研究で観察された運動単位の活動特性の日内変動は、部分的に末梢筋における収縮特性の変化によって説明づけることができるかもしれない。

本研究では、ケーススタディとして1名の対

象者において、中枢神経の活動特性における日内変動の有無および最大筋力や末梢筋の収縮特性との関連を明らかにした。対象者数を増やした研究が必要であるものの、中枢神経の活動特性には日内変動が存在することおよびそれが最大筋力発揮に貢献する可能性や末梢筋の収縮特性に関連している可能性が示された。これらの知見は運動パフォーマンスの発揮や筋力トレーニングの実施に対して、有用な知見になると期待され、今後の当該研究のさらなる遂行の必要性を示唆するものであった。

文献

- 1) Aschoff Jürgen: Circadian control of body temperature, *Journal of Thermal Biology*, 8, 143-147, 1983
- 2) Degaute J. P., van de Borne P., Linkowski P., Van Cauter E.: Quantitative analysis of the 24-hour blood pressure and heart rate patterns in young men, *Hypertension*, 18, 199-210, 1991
- 3) Krauchi K., Wirz-Justice A.: Circadian rhythm of heat production, heart rate, and skin and core temperature under unmasking conditions in men, *Am J Physiol*, 267, R819-829, 1994
- 4) Dyar K. A., Ciciliot S., Wright L. E., Bienso R. S., Tagliacucchi G. M., Patel V. R., Forcato M., Paz M. I., Gudiksen A., Solagna F., Albiero M., Moretti I., Eckel-Mahan K. L., Baldi P., Sassone-Corsi P., Rizzuto R., Biciato S., Pilegaard H., Blaauw B., Schiaffino S.: Muscle insulin sensitivity and glucose metabolism are controlled by the intrinsic muscle clock, *Mol Metab*, 3, 29-41, 2014
- 5) Dewhurst S., Macaluso A., Gizzi L., Felici F., Farina D., De Vito G.: Effects of altered muscle temperature on neuromuscular properties in young and older women, *Eur J Appl Physiol*, 108, 451-458, 2010
- 6) Douglas C. M., Hesketh S. J., Esser K. A.: Time of Day and Muscle Strength: A Circadian Output?, *Physiology (Bethesda)*, 36, 44-51, 2021
- 7) Drust B., Waterhouse J., Atkinson G., Edwards B., Reilly T.: Circadian rhythms in sports performance--an update, *Chronobiol Int*, 22, 21-44, 2005
- 8) Baxter C., Reilly T.: Influence of time of day on all-out swimming, *Br J Sports Med*, 17, 122-127, 1983
- 9) Martin Alain, Carpentier Alain, Guissard Nathalie, van Hoecke Jacques, Duchateau Jacques: Effect of time of day on force variation in a human muscle, *Muscle & Nerve*, 22, 1380-1387, 1999
- 10) Damas F., Phillips S., Vechin F. C., Ugrinowitsch C.: A review of resistance training-induced changes in skeletal muscle protein synthesis and their contribution to hypertrophy, *Sports Med*, 45, 801-807, 2015
- 11) Gauthier A., Davenne D., Martin A., Cometti G., Van Hoecke J.: Diurnal rhythm of the muscular performance of elbow flexors during isometric contractions, *Chronobiol Int*, 13, 135-146, 1996
- 12) Farina D.: Counterpoint: spectral properties of the surface EMG do not provide information about motor unit recruitment and muscle fiber type, *J Appl Physiol (1985)*, 105, 1673-1674, 2008
- 13) Holobar A., Farina D., Gazzoni M., Merletti R., Zazula D.: Estimating motor unit discharge patterns from high-density surface electromyogram, *Clin Neurophysiol*, 120, 551-562, 2009
- 14) Duchateau J., Hainaut K.: Isometric or

- dynamic training: differential effects on mechanical properties of a human muscle, *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 56, 296-301, 1984
- 15) Francic Aljaz, Holobar Ales: On the Reuse of Motor Unit Filters in High Density Surface Electromyograms Recorded at Different Contraction Levels, *IEEE Access*, 9, 115227-115236, 2021
 - 16) Holobar A., Zazula D.: On the selection of the cost function for gradient-based decomposition of surface electromyograms, *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2008, 4668-4671, 2008
 - 17) Watanabe K., Holobar A.: Quercetin ingestion modifies human motor unit firing patterns and muscle contractile properties, *Exp Brain Res*, 239, 1567-1579, 2021
 - 18) Hirono T., Kunugi S., Yoshimura A., Holobar A., Watanabe K.: Acute changes in motor unit discharge property after concentric versus eccentric contraction exercise in knee extensor, *J Electromyogr Kinesiol*, 67, 102704, 2022
 - 19) Tomita A., Kawade S., Moritani T., Watanabe K.: Novel perspective on contractile properties and intensity-dependent verification of force-frequency relationship during neuromuscular electrical stimulation, *Physiol Rep*, 8, e14598, 2020
 - 20) Chtourou H., Souissi N.: The effect of training at a specific time of day: a review, *J Strength Cond Res*, 26, 1984-2005, 2012
 - 21) Callard D., Davenne D., Gauthier A., Lagarde D., Van Hoecke J.: Circadian rhythms in human muscular efficiency: continuous physical exercise versus continuous rest. A crossover study, *Chronobiol Int*, 17, 693-704, 2000
 - 22) Contessa P., Adam A., De Luca C. J.: Motor unit control and force fluctuation during fatigue, *J Appl Physiol* (1985), 107, 235-243, 2009
 - 23) Gabriel D. A., Kamen G., Frost G.: Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices, *Sports Med*, 36, 133-149, 2006
 - 24) Nuzzo J. L., Barry B. K., Jones M. D., Gandevia S. C., Taylor J. L.: Effects of Four Weeks of Strength Training on the Corticomotoneuronal Pathway, *Med Sci Sports Exerc*, 49, 2286-2296, 2017
 - 25) Lagerquist O., Zehr E. P., Baldwin E. R., Klakowicz P. M., Collins D. F.: Diurnal changes in the amplitude of the Hoffmann reflex in the human soleus but not in the flexor carpi radialis muscle, *Exp Brain Res*, 170, 1-6, 2006
 - 26) Watanabe K., Holobar A., Kouzaki M., Ogawa M., Akima H., Moritani T.: Age-related changes in motor unit firing pattern of vastus lateralis muscle during low-moderate contraction, *Age (Dordr)*, 38, 48, 2016
 - 27) Pearson S. J., Onambele G. N.: Influence of time of day on tendon compliance and estimations of voluntary activation levels, *Muscle Nerve*, 33, 792-800, 2006
 - 28) Castaingts V., Martin A., Van Hoecke J., Perot C.: Neuromuscular efficiency of the triceps surae in induced and voluntary contractions: morning and evening evaluations, *Chronobiol Int*, 21, 631-643, 2004
 - 29) Hirono T., Ueda S., Mita Y., Watanabe K.: Neuromuscular characteristics during weight loss in a professional boxer: a case study, *J Neurophysiol*, 128, 963-968, 2022