

大学女子バスケットボール選手の遠位-近位部皮膚温度勾配 を指標とした体温リズム評価 —個別ケアが必要な選手の選出—

中川 友紀,* 玉田 良樹,** 村上 朋未,** 山野 薫**

目的：大学女子バスケットボール選手（以下、バスケ選手）を対象に遠位-近位部皮膚温度勾配（distal-proximal skin-temperature gradient; DPG）を指標とした体温リズムの評価を試みた。

対象：バスケ選手16名（年齢平均±標準偏差; 20.4±1.1歳）を対象とした。金属のボタン型機器iButtonにて両前腕遠位端内側と両下腿遠位端内側、両鎖骨下の体表皮膚温を測定し、両前腕遠位端内側と両下腿遠位端内側の皮膚温平均から両鎖骨の皮膚温平均を減じてDPGを算出した。DPGを24時間周期回帰分析にて解析し、体温リズムのパラメータを得た。

結果：対象者の大半（75%; 16人中12人）は午前1時頃から午前4時半頃の夜間帯に体温リズムの最高値をとっていた。一方、残りの数人（25%; 16人中4人）は午前4時半頃から午後12時頃の朝方から日中にかけて体温リズムの最高値をとっていた。全対象者ともに食事や運動（練習）の時間や内容が同じであったにも関わらず、DPGに差異がみられたことは、睡眠状況等の身体のコンディションの違いが影響している可能性が考えられた。

結論：結論として、DPGを指標とした体温リズムの評価はバスケ選手に有用である可能性が示唆された。バスケットボールはチームプレーであることから、また、体温リズムが乱れている個別的ケアが必要な選手が存在する可能性が示唆された。また、体温リズムが乱れている個別6ケタの必要な選手が存在する可能性が示唆された。

キーワード：アスリート、概日リズム、体温リズム、遠位-近位部皮膚温度勾配、バスケットボール

(2022年10月25日受け付け、2022年12月10日受理)

はじめに

ヒトの活動は地球の自転による約24時間周期（明暗周期）に同調させている。血圧や体温などの生理学的システムは1日24時間の中で変動する。このリズムは概ね1日の周期をとることから概日リズムと呼ばれている。概日リズムは体内時計をもとにリズムを刻んでおり、視床下部の視交叉上核が体内時計の中樞を担っている¹⁾。太陽光や運動、食事などの外因性因子に影響を受けることで、概日リズムは身体の外の世界に合わせてリズムが調整されている¹⁾。

アスリートにおいては、深部体温が最もピークとなる夕方にパフォーマンスが最高になることが報告さ

れている²⁾。一方で、睡眠覚醒サイクルが乱れるとパフォーマンスが低下することが報告されている²⁾。近年では、時差症候群（時差ぼけ）によるアスリートのパフォーマンス低下を防ぐために、アスリートの時差症候群の対処へのガイドラインも出てきている³⁾。アスリートのパフォーマンスと概日リズムは密接に関係していることが分かってきており、アスリートの概日リズムは注目されてきている。そのため、アスリートやコーチにとって、アスリートの概日リズムの特徴を理解することは重要な実践的考慮事項となり、アスリート個人またはチームの短期的および長期的な成功に重要な影響を与える可能性がある。

概日リズムの評価において、生物時計そのものを解

*大阪人間科学大学 保健医療学部 作業療法学科
**大阪人間科学大学 保健医療学部 理学療法学科
*責任著者：大阪府摂津市正雀1-4-1、大阪人間科学大学 保健医療学部 作業療法学科
E-mail: yuki-nakagawa@kun.ohs.ac.jp

析する場合は血中メラトニンの測定が有用である¹⁾。一方、臨床研究では測定が容易な理由で深部体温の測定が使用されることが多い¹⁾。深部体温では外的刺激の影響が少ないため直腸温が測定されることが多い。しかし、直腸温はサーミスタを埋め込んだプローブを肛門に挿入する必要がある、アスリートに身体的心理的な苦痛を与えてしまう⁴⁾。アスリートへの身体的心理的な苦痛はアスリート個人のパフォーマンスへの影響だけではなく、チーム全体へのパフォーマンスにも影響を及ぼしかねない。深部体温の測定の代用として、鼓膜温や口腔舌下温、消化管温度などの測定が挙げられる⁵⁾。しかし、鼓膜温や口腔舌下温は連続測定が困難である。消化管温度は温度センサーの入っているカプセルを飲み込むことで測定できるが、測定時間が排便までの数十時間から数日間と一定しない。また、測定のためとはいえ異物を体内に入れることに抵抗感があるアスリートへの心理的負担感も懸念される⁶⁾。現在のアスリートに対するこのような体温の測定では、連続的かつ身体的心理的苦痛を与えずに測定することが難しいのが実情である。

近年、対象者への身体的心理的負担感の少ない方法として、遠位-近位部皮膚温度勾配 (Distal-proximal skin-temperature gradient ; 以下DPG) の測定が高齢者や乳幼児などに使用されている⁷⁾。iButtonという機器を使用することで非侵襲的に連続的に体表皮膚温を測定でき、測定した体表皮膚温データから容易にDPGを算出することができる。DPGを利用すればアスリートに身体的および心理的に負担をかけずに、概日リズムを評価することができると考えられる。しかし、アスリートを対象にDPGを指標として概日リズム (以下、体温リズム) を評価した先行研究は見当たらない。そこで本研究にて、アスリートを対象にしてDPGを使用した体温リズムの評価の有用性を試みた。また、アスリートのDPGを指標とした体温リズムの特徴を捉えることとした。

方 法

1. 研究デザイン

横断研究とした。

2. 対象者と選定基準

アスリートの対象は、全日本大学バスケットボール連盟に登録されているA大学の女子バスケットボール部に所属しているもの (以下、バスケ選手) とした。A大学は過去45年間の全日本大学バスケットボール選手権に45回連続出場を果たしており、準優勝と3位の成績をもつ強豪校である。

包含基準は、①A大学の女子バスケットボール部に所属している大学生であること、②怪我などがなく練

習に参加できている選手であること、③食事や入浴時間、就寝、起床時間が同じ時間帯である選手寮に居住する選手であることとした。除外基準は、(a)睡眠薬やホルモン剤を服薬しているもの、(b)1ヶ月以内に時差がある海外渡航をしたもの、(c)体温測定の機器を使用する兼ね合いから既往歴に金属アレルギーや閉塞性動脈硬化症があるものとした。対象者には研究内容の説明及び倫理的配慮について書面を用いて口頭で説明を行い、同意を得た上で研究を実施した。本研究は大阪人間科学大学の「人を対象とする研究」に関する倫理審査委員会から承認を得た (承認番号: 2021-07)。2021年9月から12月に調査を実施して、バスケ選手は16名 (平均年齢±標準偏差; 20.4±1.1歳) であった。

3. 評価項目

対象者背景としての評価は、年齢、体組成とした。睡眠状況は、主観的な睡眠の質を測定した。体温リズムのアウトカムは、DPGを測定した。

1) 基本情報

年齢と体組成として身長、体重、ボディマス指数 (Body Mass Index ; 以下BMI)、筋肉量、体脂肪量、体脂肪率を評価した。調査方法では、年齢は体組成計に入力させ、身長は身長計にて計測した。体重、BMI、筋肉量、体脂肪量、体脂肪率に関しては体組成計 (InBody270, InBody, Tokyo, Japan) にて計測した。

2) 主観的な睡眠の質

ピッツバーグ睡眠質問票 (Pittsburgh Sleep Quality Index ; 以下PSQI) にて主観的な睡眠の質を評価した。PSQIは自記式アンケートであった。対象者は、ワイヤレス体表皮膚温度計を装着した日の翌日にPSQIに回答した。

3) 体温リズム

体表皮膚温の測定は「iButton DS1922T (Maxim社製)」のワイヤレス体表皮膚温度計を使用した (図1)。測定は、1分間隔で24時間連続測定を行った。iButtonの装着部位は左右鎖骨下、左右前腕遠位端内側、左右下腿遠位端内側の計6箇所として、固定には敏感肌用の医療用テープを使用した。左右鎖骨下の皮膚温の平均値を「近位皮膚温」、左右前腕遠位端内側と左右下腿遠位端内側の皮膚温の平均値を「末梢皮膚温」とし、末梢皮膚温から近位皮膚温を減した値 (DPG) を体温リズムの指標として使用した^{8,9)}。体温リズムの指標に、鎖骨や前腕遠位端内側、下腿遠位端内側のみの皮膚温ではなくDPGを使用することで、対象者間の個人差や環境温度の影響が最小限になるように配慮した¹⁰⁾。

練習中にバスケットボールが接触する等して外傷するリスクを避けることと、練習自体が皮膚温測定に影響を与えることを避けるために、バスケ選手へのiButtonの装着は練習と重複しない時間帯とした。1週間の中で月曜日が練習を行わない日であったため、日

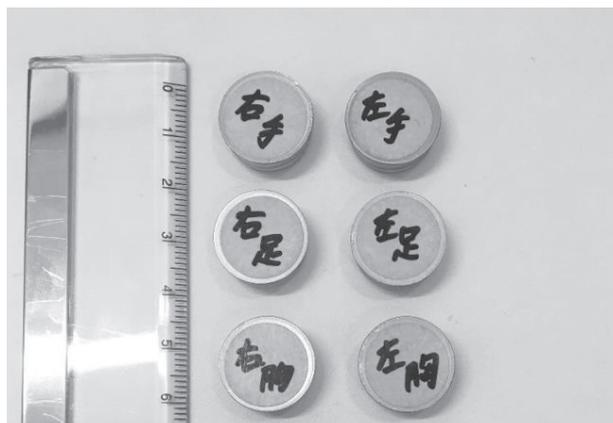


図1 ワイヤレス体表皮膚温度計 (iButton)

構造:厚さ16mm、幅1.5cmのステンレス缶にコンピュータチップが内蔵されている。

内部構造:3Vリチウムバッテリー、半導体温度センサー、1-Wire送受信機内蔵型コンピュータチップ、時計、カレンダー、熱履歴装置、記憶装置

体表皮膚温度測定方法:身体の各部位(機器に示す部位)に医療用テープで機器を装着する。

曜日の練習後21時から翌日月曜日21時までの24時間をiButtonの装着時間とした。iButtonは耐水仕様ではないため、装着日である日曜日はiButton装着前に入浴をすませ、取り外し日である月曜日はiButton除去後に入浴するよう指示した。尚、体温測定への影響を考慮して月経周期と重ならない時期に測定を実施した。

4) 24時間の周期回帰分析手法

DPGにおける体温リズムの解析に24時間の周期回帰分析を使用した^{11, 12)}。最小二乗法によるシングルコサイナー法を使用した¹³⁾。DPGの体温リズムのパラメータに対して一時間毎の平均値をコサインカーブへフィットさせた。元のDPGのデータの周期回帰曲線への一致率を重寄与率 R^2 値にて算出した。

コサインカーブは $y = M + A \cos(\omega t - \phi)$ の式で提示した。式は体温リズムの3つのパラメータを示した。一つ目のM; Mesor (メサー)はコサインカーブの平均値を示した。二つ目のA; Amplitude (振幅)はメサーから最大値ないしは最小値までの値を示した。三つ目の ϕ ; Acrophase (位相)はコサインカーブでの最大値の位相角を示した。位相を時間になおしたものを位相時間とした。

結果

1. 基本属性

バスケット選手の基本属性の結果を平均値±標準偏差で表記した。年齢は 20.4 ± 1.1 歳であった。身長は 170.9 ± 5.3 cm、体重は 63.6 ± 6.2 kg、BMIは 21.6 ± 1.5 kg/m²であった。筋肉量は 48.0 ± 4.4 kgであった。体脂肪量は 12.8 ± 2.9 kg、体脂肪率は 19.1 ± 3.1 %であった。

2. 体温リズム

バスケット選手の体温リズムの結果について、中央値(最小値、第一四分位、第三四分位、最大値)で表記した(表1)。時間は24時間表記で示した。メサーは -1.42 ($-3.13, -2.23, -1.20, -0.02$)度であった。振幅は 0.86 ($0.55, 0.72, 1.59, 4.17$)度であった。位相時間は3時28分(0時49分, 2時16分, 4時25分, 11時36分)であった。バスケット選手の対象者の75%(16人中12人)の位相時間は午前1時頃から4時半頃であった。一方で、残りの25%(16人中4人)の位相時間は午前4時半頃から午後12時頃であった。バスケット選手の一例の体温リズムを図2に示す。図2では、x軸は1日24時間の時間、y軸はDPG(度)、曲線はバスケット選手($n = 1$)の体温リズムを示している。体温リズムは $y = -1.186 + 0.822 \cos(\omega t - 0.932)$ の式であった。体温リズムの曲線がピークをとる時間帯(位相時間)は3時34分であった。

表1 バスケット選手のDPGを指標とした体温リズム

項目	バスケットボール選手の体温リズム ($n = 16$)
R^2	0.30 (0.14, 0.25, 0.55, 0.75)
メサー	-1.42 ($-3.13, -2.23, -1.20, -0.02$)
振幅	0.86 (0.55, 0.72, 1.59, 4.17)
位相	0.91 (0.2, 0.59, 1.16, 3.04)
位相時間	3時28分 (0時49分, 2時16分, 4時25分, 11時36分)

データは中央値(最小値、25%toil, 50%toil, 最大値)で示す。時間は24時間表記。

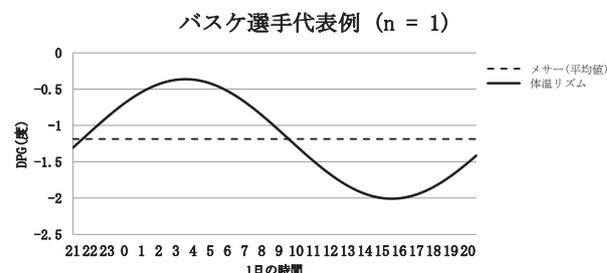


図2 バスケット選手代表の一例。メサー(平均値)は -1.186 度、振幅は 0.822 度、位相時間は午前3時34分であった。

尚、皮膚温の測定により発赤や湿疹がでたりするなど肌にトラブルが生じたものはおらず、全対象者ともiButtonを24時間連続測定することが出来た。また入浴を除き、装着による生活への影響を訴えたものはいなかった。

考察

1. iButtonでの体表皮膚温測定によるDPGを指標とした体温リズムの有用性

バスケット選手の体温リズムを捉えるために、iButtonを

使用して体表皮膚温を測定した。iButtonによる体表皮膚温の測定は信頼性と妥当性がすでに報告されている¹⁴⁾。iButtonは金属のボタン型機器であり、手指でつまめるほど軽量でサイズが小さい（直径16mm, 厚さ6mm, 重量3g）。対象者への心身への負担や生活の制限をほとんど生じさせることなく体表皮膚温を測定できた。また、iButtonの装着には敏感肌用医療テープを使用し皮膚への負担を軽減させた。対象者が皮膚の発赤や湿疹などのトラブルを生じることにはなかった。体温リズムの指標としては、対象者間の個人差や環境温の影響を最小限にするためにDPGを使用した。DPGを指標とした体温の調査は既に幾つかの研究で実施されている^{7,9)}。したがって、バスケット選手の体温リズムを捉えるためにiButtonを使用してDPGを測定する方法は有用である可能性が示唆された。

2. バスケット選手の体温リズムの特徴

DPGを指標とした体温リズムの報告は殆ど見当たらないため、今回のバスケット選手の体温リズムの結果は、バスケット選手のDPGを指標とした体温リズムの参考値の一つになる可能性が考えられた。アスリートに対してDPGを指標に体温リズムを算出した先行研究は見当たらないため、体表皮膚温の指標としてDPGの値を使用している幾つかの先行研究のDPG値を参考にした。

19人の健康な男性（年齢平均±標準偏差；45.8±7.7歳）を対象にした報告¹⁵⁾では、入眠前のDPGが-2度から0.5度の値をとっていた。10人の健康な女性（年齢平均±標準偏差；27±0.8歳）を対象にした報告¹⁶⁾では、日中のDPGは-2度から-1度の値を取っていた。本研究のバスケット選手の体温リズムにおけるDPGのメサアの中央値-1.42度と振幅0.86度であり、DPGは-2.28度から0.56度を概ね推移していた。先行研究では健康な若年者から壮年者のDPG値は-2度から0.5度の値を取っていたことから、バスケット選手のDPGも先行研究の対象者と相違はなかったと考えられた。

DPGの位相時間に関しては、バスケット選手の対象者の大半（75%；16人中12人）は午前1時頃から午前4時半頃と、夜間帯に体温リズムの最高値をとっていた。一方で、残りの数人（25%；16人中4人）は午前4時半頃から午後12時頃と朝方や日中に体温リズムの最高値をとっていた。アスリートにおいては、個人差はあるものの深部体温は夕方が高くなることが報告されている²⁾。一般的に深部体温は直腸温や鼓膜温、口腔舌下温、消化管温度などが測定される^{2,4,5)}。今回の研究で使用したDPG値は末梢皮膚温から中枢皮膚温を除いた値であった。DPG値は末梢体温と中枢体温の差であり、深部体温そのものを反映していなかった。そのため、深部体温は夕方になりやすいことが報告されている先行研究²⁾とは異なり、DPG値を指標とした体温リズムの位相時間（DPG値の最高値をとる時刻）は夜間帯

になったと考えられる。

3. バスケット選手間での体温リズムの位相時間の違い

DPGの位相時間は、大半のものが午前1時頃から4時半頃と夜間帯であったが、残りの数人は午前4時半頃から午後12時頃と朝方や日中であった。概日リズムに影響する因子としては、主に光や睡眠状況、食事、運動が関与すると報告されている¹⁾。本研究の対象者は同じ部活の選手寮に居住している選手を対象にしており、食事時間や食事内容、運動内容（練習内容）や運動時間（練習時間）は全員が同じであった。また、光についても、平日の練習がない時間帯は大学校舎内で同じ人工照明のもとで講義を受けており、練習時間帯は体育館内で同じ人工照明のもと練習を実施していた。よって、日光や人工照明での光を浴びる量が極端に多かたり少なかりしたものがいたとは考えづらい。概日リズムには主に光や睡眠状況、食事、運動が影響すること¹⁾を踏まえると、光や食事、運動はバスケット選手間で同じような状況であったため、睡眠状況などの身体のコディショニングの違いが体温リズムの位相時間に影響を与えた可能性が考えられる。体温リズムがピークをとる時間（位相時間）が、チームの大半の選手と大幅にずれていた選手に関しては、個別のコディショニングのケアが必要である可能性がある。また、アスリートの概日リズムはパフォーマンスの発揮時間やパフォーマンスレベルと関連があることが報告されている^{2,17)}。バスケットボールは個人競技ではなくチームプレーである。選手間の体温リズムの差異をできるだけ減らし、試合時間に合わせてチームのパフォーマンスが発揮しやすくなるように調整したり、パフォーマンスレベルが最高の状態となるように調整したりしておく必要がある。したがって、チームでのパフォーマンスをより良く保つためにも、体温リズムの位相時間がチームの大半の選手からずれている選手に関しては体温リズムを調整するケアが必要であるかもしれない。

結 論

DPGを指標とした体温リズムの評価はバスケットボール選手に有用である可能性が示唆された。大半のバスケット選手は遠位近位部皮膚温度勾配（DPG）を指標とした体温リズムの位相時間が夜間帯であったが、数人のバスケット選手は朝方から日中の時間帯であった。体温リズムの位相時間にもとづき、個別的ケアが必要なバスケット選手が存在する可能性が示唆された。

引用文献

- 1) 千葉茂, 本間研一. サーカディアンリズムと睡眠. 新興医学出版社. 2018, 10-39
- 2) Eirunn T, Bjørn B, Elisabeth F, Anette H, Ståle P. Sleep, circadian rhythms, and athletic performance. *Sleep Med Rev.* 2015;23:1-9
- 3) 公共財団法人 日本オリンピック委員会, JOC conditioning guide for Rio 2016, 2016. (2022年8月1日閲覧, https://www.joc.or.jp/games/olympic/riodejaneiro/pdf/conditioning_guide_rio2016.pdf/)
- 4) 小山恵美. ヒトの日常生活における直腸温と心拍数計測および両者日内変動の相関関係. *BMI.* 1993;7:23-30
- 5) Lim C, Byrne C, Lee J. Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings. *Ann Acad Med Singap.* 2008;37:347-53
- 6) 鏡森定信, Gaina A, 王紅兵, 新村哲夫, 関根道和, 立瀬剛志ほか. 飲用型カプセル深部体温計からみた日常生活行動-運動、温浴および睡眠を中心に. *日温気物医誌.* 2007;70:227-237
- 7) 阿部範子. 乳児の就眠時の遠位-近位部皮膚温度勾配 (DPG) の検討. *秋田県母性衛生学会雑誌.* 2013;27:17-23
- 8) Wouter D, Hein A, Loek W, Rolf F, Roy J, Natascha M et al. Evaluation of wireless determination of skin temperature using iButtons. *Physiol Behav* 2006;88:489-497
- 9) Krauchi K, Cajochen C, Werth E, Wirz-Justice A. Warm feet promote the rapid onset of sleep. *Nature.* 1999;401:36-37
- 10) 中川友紀, 野田和恵, 丹智絵子, 飯田貴博, 谷村亮介, 原辰伍ほか. 入院中高齢者と退院後高齢者の環境変化と加齢における遠位近位部皮膚温度勾配を指標とした体温リズムの特徴. *日本病態生理学会雑誌.* 2022;31:62-71
- 11) Tamai T, Nakane Y, Ota W, Kobayashi A, Ishiguro M, Kadofusa N et al. Identification of circadian clock modulators from existing drugs. *EMBO Mol Med.* 2018;10:e8724
- 12) Sasaki T, Numano R, Yokota-Hashimoto H, Matsui S, Kimura N, Takeuchi H. A central-acting connexin inhibitor, INI-0602, prevents high-fat diet-induced feeding pattern disturbances and obesity in mice. *Mol Brain.* 2018;11:1-15
- 13) Nelson W, Tong Y, Lee J, Halberg F. Methods for cosinor-rhythmometry. *Chronobiologia.* 1979;6:305-323
- 14) Hasselberg M, McMahon J, Parker K. The validity, reliability, and utility of the iButton for measurement of body temperature circadian rhythms in sleep/wake research. *Sleep Med.* 2013;14:5-11
- 15) Ichiba T, Suzuki M, Aritake-Okada S, Uchiyama M. Periocular skin warming elevates the distal skin temperature without affecting the proximal or core body temperature. *Sci Rep.* 2019;9:1-8
- 16) Kräuchi K, Konieczka K, Roescheisen-Weich C, Gompfer B, Hauenstein D, Schoetzel A et al. Diurnal and menstrual cycles in body temperature are regulated differently: a 28-day ambulatory study in healthy women with thermal discomfort of cold extremities and controls. *Chronobiol Int.* 2014;31:102-113
- 17) Reilly T, Atkinson G, Edwards B, Waterhouse J, Farrelly K, Fairhurst E. Diurnal variation in temperature, mental and physical performance, and tasks specifically related to football (soccer). *Chronobiol Int.* 2007;24:507-519

Evaluation of Temperature Rhythm Using the Distal-Proximal Skin Temperature Gradient in Female College Basketball Players

— Selection of Players Who Need Personalized Care —

Yuki NAKAGAWA, OTR, MA,* Yoshiki TAMADA, RPT, MS,*
Tomomi MURAKAMI,** Kaoru YAMANO, RPT, PhD*

Objectives : We assessed temperature rhythms using the distal-proximal skin-temperature gradient (DPG) was attempted in female college basketball players.

Methods : The subjects were 16 basketball players (age mean \pm standard deviation; 20.4 ± 1.1 years). Skin temperatures were measured at both the inner sides of the distal forearms and lower legs, and both under clavicles using the iButton. DPG was calculated by subtracting the average skin temperature of both collarbones from the average skin temperature of both forearms and lower legs. The data were analyzed by 24-hour periodic regression analysis for DPG.

Results : The majority of subjects (75%; 12 out of 16 people) had their peak temperature rhythms from about 1:00 a.m. to 4:30 a.m. A few (25%; 4 of 16 people) had their peak temperature rhythms from about 4:30 a.m. to 12:00 p.m. The difference in each subject's body condition may have affected the peak value of temperature rhythm.

Conclusions : In conclusion, the results suggest that the evaluation of temperature rhythm using DPG may be valuable for basketball players, making it possible to identify those who need individualized care.

Key Words : Athlete, Circadian rhythm, Temperature rhythm, Distal-proximal skin-temperature gradient, Basketball

(Received in Oct 25, 2022, Accepted in Dec 10, 2022)

* Department of Occupation Therapy, Faculty of Human Sciences, Osaka University of Human Sciences.

** Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences Osaka University of Human Sciences.

* Corresponding author : Department of Occupation Therapy, Faculty of Human Sciences, Osaka University of Human Sciences. 1-4-1, Shojaku, Settsu, Osaka 566-8501, Japan.
E-mail : yuki-nakagawa@kun.ohs.ac.jp