

末梢性疲労および中枢性疲労の測定と評価

松村 寿枝, 辻 郁奈*, 谷口 尚美**, 河村 絵美

Measurement and Evaluation of Peripheral and Central Fatigue

Toshie MATSUMURA, Ayana TSUJI, Naomi TANIGUCHI and Emi KAWAMURA

本論文は、末梢性および中枢性疲労時の疲労測定指標の変化を調べるために実施した被験者実験において、自覚症状しらべの結果をまとめたものである。末梢性疲労を生じさせるための負荷の開始前と3回目の負荷後と比較すると、「ねむけとだるさ」は強くなっているが、一方で「注意集中」ができるようになり、逆に「身体各部の違和感」はほとんどなかった。これは与えた負荷により身体に多少の「ねむけやだるさ」を感じている被験者はいるが、逆に負荷が適度な運動となり、自覚症状として出るまでには至っていなかった被験者が多かったといえる。

一方、中枢性疲労を生じさせるための負荷の開始前と3回目の負荷後では、「ねむけとだるさ」を感じる被験者の割合は増えているが、「注意集中の困難」は減り、集中力が高まっているといえる。また、「身体各部の違和感」についても感じる被験者と感じない被験者の増減の割合があまり変わらないことを考えると、本実験で実施した中枢性疲労を生じさせるための負荷は必ずしも「身体各部の違和感」を与えるものではなかったといえる。

1. まえがき

現代社会において疲労を感じていない人は皆無といってよく、疲労を簡単に測定することが出来れば産業分野をはじめとし、様々な分野への応用も期待できる。近年の疲労の研究成果により、そのメカニズムなども徐々にわかってきている^[1]。しかし、実際の疲労測定の場合において疲労は、客観的な測定が難しく、特殊なセンサーや試験方法、質問票などの自覚症状等を調べることによって実現されている^{[2]~[4]}。著者らは、非侵襲で容易に収集できる音声に着目し、音声から疲労を推定することができるのではないかと考えた。音声から話者の疲労を検出する試みとしては、カオス理論を用いた塩見らの研究^[5]が報告されている。更に著者らはより簡便な処理による疲労推定を目指し、従来の音響分析手法を用いた疲労測定法の研究・開発を行ってきた^[6]。その研究過程において、提案する音声を用いた疲労測定法の有効性を調べるためにも、疲労を生じさせる特定の負荷を課した際に比較する従来の疲労測定指標の変化を調べる必要があることがわかった。そこで被験者実験において、従来提案されてきた疲労測定指標のいくつかと音声を末梢性および中枢性疲労時に測定した。本論文では、その中でも末梢性および中枢性の疲労と自覚症状しらべの関係について報告する。

2. 疲労測定指標

従来の疲労測定指標とされているものの代表的なものを紹介する。疲労の測定指標を大分類すると心理的指標、生理的指標、行動的指標に分けられる^[2]。まず、心理的指標は、主に主観的な疲労感を評価するものであり、自覚症状しらべなどがある。自覚症状しらべは、各自が主観的に評価するものであり、疲労を自覚していない場合には有効ではない。次に生理的指標は、中枢神経系、自律神経系、内分泌系・免疫系などがある。これらはいずれも生化学的バイオマーカーが多く^[4]収集や分析が手軽に行えるものは少ないといえる。生理的指標で代表的なものを名前だけあげておくと、中枢神経系のフリッカー、自律神経系の心拍(HR)、血圧、瞬目、内分泌系・免疫系のカテコールアミンなどがあげられる。被験者実験で使用したアミラーゼは、反応が速く測定が容易であるが、ストレスマーカーであり、長期間のストレスは疲労の要因ではあるが、参考にとどめておくものとする。また、乳酸については、以前は疲労の原因物質とされていたようではあるが、最近の研究ではその関係が否定されているため、生理的指標の中に入れていない。また、被験者実験の際に測定される行動的指標は、作業の正答率や反応時間などで調べることができるが、作業によっては正答率や反応時間を調べられないものもあり、すべての疲労時に有効な手段というほどではない。

本論文では、この中でも心理的指標の自覚症状しらべの

* 元情報工学科学生、現 金沢大学

** 元情報工学科学生

結果を取り上げる。自覚症状しらは、日本産業衛生学会産業疲労研究会^[7]が提案しているものを参考に、近藤^[8]による3種類の分類に従い、それぞれの質問項目を集計した。自覚症状とその分類を表1に示す。第Ⅰ要因は、「ねむけとだるさ」に属する項目をまとめたものであり、第Ⅱ要因は「集中力の困難」をまとめたものであり、第Ⅲ要因は「身体各部違和感」をまとめたものである。なお、質問時には、これらの項目に対して症状の度合いが最も高いものを5、症状がない場合を1とし、5段階で被験者に回答をしてもらった。

3. 疲労

疲労の概念や定義は諸説あるが、疲労は、肉体的・精神的な活動において生じ、過度の負荷が長期間かかることで起こる生体の機能低下であると考えられることができる。生体のどの部分の機能が低下するかにより分類を行うことができる。そこで、本研究では疲労を、強く機能が低下すると考えられる部位により2種類に分類することとする。精神的な活動によって脳が特に疲労を感じる場合を本研究では特に中枢性疲労と呼ぶこととする。また、肉体的な活動により、中枢性疲労も生じているが、より身体の一部にも疲労を感じているものを中枢以外の末梢での疲労という意味で末梢性疲労と呼ぶこととする。

4. 被験者実験

奈良高専本科生の1～5年生の健康な男性8名、女性4名の計12名を対象に末梢性疲労測定の被験者実験を被験者個別に実施した。いずれの被験者も実験当日は過度の疲労状態ではないものとし、その日の測定前に行っていた作業や測定前の疲労度、覚醒度、休憩時間、睡眠時間、飲み物等の摂取など疲労と関係する要因については、アンケート調査により回答を行ってもらった。なお、このアンケートは中枢性疲労の被験者実験でも同じものを使用した。

末梢性疲労を生じさせるための負荷については、約30分間の負荷を1回とし、計3回の合計1時間30分の負荷をかけた。実験の開始前、30分後（1回目）、1回目の30分後（2回目）、更に2回目の30分後（3回目）に従来の疲労測定指標を測定した。約30分の負荷の詳細は、反復横とび・なわとび・踏み台昇降・筋トレを組み合わせ、肉体的な疲労である末梢性疲労を誘発させるものとなっている。それぞれの項目の間には30秒ずつ期間をあけている。開始前、1回目の後、2回目の後、3回目の後にブリッカー、疲労度のアンケート、自覚症状しらべ、アミラーゼなどの従来の疲労測定指標と音声収集を行っている。いずれも、各指標の収集のみで休憩は行っていない。

次に奈良高専本科生3～5年生の健康な男性6名、女性6名の計12名を対象に被験者個別に中枢性疲労の被験者実験を行った。個人差の影響がないよう被験者は、末梢性と中枢性の被験者でなるべく同じ被験者に実験の実施を依頼したが、一部の被験者は末梢性被験者とは別の被験者に対して実験を実施した。負荷は末梢性疲労と同じく約

30分を1回とし、計3回の1時間30分の負荷をかけた。1回の負荷の内容は2桁×2桁の筆算を時間内に解けるだけ解くように指示を行い問題数はあらかじめ多めに準備したうえで実施をした。実験の開始前、30分後（1回目）、1回目の30分後（2回目）、更に2回目の30分後（3回目）に行動的指標の正答率を加え、それ以外は末梢性疲労と同じ従来の疲労測定指標を測定した。

5. 結果および考察

末梢性疲労時の自覚症状しらべの結果を表2に示す。第Ⅰ要因から第Ⅲ要因の分類については表1のとおりである。

疲労前と最後の3回目後を比較する。第Ⅰ要因は、症状なしとする1は4.2%、あまりないとする2は10.18%減少し、ふつうとする3は1.92%、症状が少しはある4が1.07%、かなりある5が11.39%増加している。特にかなりある被験者の増加が大きい。つまり、疲労前に比べ3回の負荷後は「ねむけとだるさ」が増加していることがわかる。

次に第Ⅱ要因の「注意集中の困難」についてみると、症状なしとする1は9.51%増加しているが、あまりないとする2は2.24%減少し、ふつうとする3は10.25%とかなり減少している。一方、症状が少しはある4は1.6%、かなりある5は1.39%増加している。割合を考えるとふつうを答えた割合が大幅に減少しており、症状がないと答えた被験者が増加している。この結果から考えると、疲労前に比べると「注意集中」ができるようになった被験者が一定数以上いるといえる。

第Ⅲ要因についてみると症状なしとする1は、2.18%減少しており、あまりないとする2は5.32%増加している。ふつうとする3は0.84%減少しており、症状が少しはある4は2.31%減少しているが、かなりある5は変化していない。この結果第Ⅲ要因の「身体各部の違和感」はほとんどないといえる。

中枢性疲労時の自覚症状しらべの結果を表3に示す。末梢性と同じく第Ⅰ要因から第Ⅲ要因の分類については表1のとおりである。

末梢性疲労と同様に疲労前と3回目後を比較する。第Ⅰ要因は、症状なしとする1は、変化なしであり、あまりないとする2は7.07%、ふつうとする3は6.06%減少している。症状が少しはある4は、4.04%、かなりあるとする5は9.09%も増加している。つまり、疲労前に比べ3回の負荷後は「ねむけとだるさ」を感じる被験者は増加していることがわかる。

次に第Ⅱ要因の「注意集中の困難」についてみると、症状なしとする1は変化しておらず、あまりないとする2は15.15%も増加している。一方、ふつうとする3は9.09%減少し、症状が少しはある4は4.55%、かなりある5は1.51%減少している。この結果から考えると、疲労前に比べ「注意集中」ができるようになった被験者が増えたと言えることができる。

第Ⅲ要因についてみると症状なしとする1は、2.27%増

加しており、あまりないとする2は逆に8.18%減少している。ふつうとする3は1%増加しており、症状が少しはある4は3.46%減少している。また、かなりある5は8.36%増加している。症状があまりなしとする2の減少した割合8.18%と症状が強い5の増加した割合は8.36%ではほぼ同じであり、症状なしの1の割合の増加が2.27%であり、症状が少しはあるとする4が3.46%を考えると、第Ⅲ要因の「身体各部の違和感」を感じるようになった被験者と感じなくなった被験者の割合が同程度であると考えられる。

以上の結果をまとめると、末梢性疲労を与えるための被験者実験の開始前と3回目の負荷後を比較すると、「ねむけとだるさ」は強くなり、「注意集中」ができるようになった被験者がみられ、「身体各部の違和感」はほとんどないといえる。これは与えた負荷により身体に多少の「ねむけやだるさ」を与えてはいるが、逆に負荷が適度な運動となり、「身体各部の違和感」は、自覚症状として出るまでには至っていないと考えられる。これは同時に測定を行った他の指標と合わせて検討する必要がある。更に、上記は開始前と3回目（負荷30分×3回+各測定指標の測定時間×3回後）のみの最初と最後の被験者の状態の比較であり、開始前と1回目後、1回目後と2回目後、2回目後と3回目後の比較ではない。それぞれを見てみると、第Ⅰ要因～第Ⅲ要因いずれも開始前と3回目後の傾向とそれ以外の回の傾向が一致しているとは言えない。これは、負荷をかけている途中では被験者の反応とその推移も異なっているためとも考えられる。これは、この後に述べる中枢性疲労においても同様なことが言える。また、今回の被験者実験には、10代後半から20歳までの健康な男女であり、中には運動部に所属し、定期的な運動を行っている被験者もいるためであると考えられる。被験者の属性についても今後考慮する必要がある。

次に中枢性疲労について同様に検討すると、中枢性疲労を与えるための被験者実験の開始前と3回目後では、「ねむけとだるさ」を感じる割合は増えているが、「注意集中の困難」は減り、集中力が高まっているといえる。これは、2桁×2桁の筆算を一定量続けていくうちに集中力が高まったのではないかと考えられる。しかし、いずれも過度の負荷によっては、注意集中力の持続は困難になるはずであり、今回の中枢性疲労をおこさせるための被験者実験の負荷は、そこまでの負荷ではなかったと考えることもできる。次に「身体各部の違和感」についても感じる被験者と感じない被験者の増減の割合があまり変わらないことを考えると、この中枢性疲労をおこさせるための被験者実験の負荷は必ずしも「身体各部の違和感」を与えるものではなかったといえる。被験者について末梢性疲労の被験者実験と同様に検討すると、やはり日常的に講義などで学習をしていることを考えると他の年代を被験者に選んだ場合よりも疲労を感じづらかったといえるかもしれない。今回の被験者実験ではないが、別の被験者実験の際に「簡単な計算問題を一定時間行ってもらった被験者実験」と簡単な説明を行い募集をしたところ、小学校時代にそろばん塾や公文式などの塾に通っており、計算問題が苦手ではないと

いう被験者が比較的多く集まったことがある。得意な学生は、苦手な学生よりも疲れにくく、友人同士で被験者募集に応募する被験者もいたため、こちらから特に指示や確認はしていないが、時間内にどの程度解くことができるかなど競ったりすることもあったのかもしれない。疲労感は本人の自己評価のため、上記のような状況ではあまり疲労時のデータは集まりにくいと考えられる。このような被験者の特性も今後考慮に入れる必要がある。

6. まとめ

本論文では、末梢性および中枢性疲労をおこさせるための負荷をかけた被験者実験を実施し、その自覚症状しらべの結果を報告した。末梢性疲労を与えるための被験者実験の開始前と3回目の負荷後を比較すると、「ねむけとだるさ」を感じる被験者は多くなり、「注意集中」ができるようになる被験者は増えたが、「身体各部の違和感」を感じるようになった被験者の割合は比較的少なかった。これは与えた負荷により身体に多少の「ねむけやだるさ」を与えてはいるが、逆に負荷が適度な運動となり、自覚症状として出るまでには至っていなかったといえる。

次に中枢性疲労を与えるための被験者実験の開始前と3回目後では、「ねむけとだるさ」を感じる被験者の割合は増えているが、「注意集中の困難」は減り、集中力が高まっているといえる。また、「身体各部の違和感」についても感じる被験者と感じない被験者の増減の割合があまり変わらないことを考えると、本実験において中枢性疲労をおこさせるための負荷は必ずしも「身体各部の違和感」を与えるものではなかったといえる。

表1 自覚症状とその分類

第Ⅰ要因 ねむけとだるさ	第Ⅱ要因 注意集中の困難	第Ⅲ要因 身体各部の違和感
頭がおもい	考えがまとまらない	頭が痛い
全身がだるい	話をするのがいやになる	肩がこる
足がだるい	いらいらする	腰が痛い
あくびがでる	気が散る	息が苦しい
頭がぼんやりする	物事に熱心になれない	口がかわく
ねむい	ちょっとしたことが思い出せない	声がかすれる
目が疲れる	することがなく間違いが多くなる	めまいがする
動作がぎこちない	物事が気にかかる	まぶたや筋肉がピクピクする
足元がたよりない	きちんとしていられない	手足がふるえる
横になりたい	根気がなくなる	気分が悪い

表2 末梢性疲労における自覚症状しらべ(単位【%])

		疲労前	1回目後	2回目後	3回目後
第I要因	1	40.17	38.46	45.3	35.97
	2	23.93	24.79	18.8	13.75
	3	21.37	17.95	11.97	23.29
	4	11.11	8.55	14.53	12.18
	5	3.42	10.26	9.4	14.81
第II要因	1	60.04	67.95	71.79	69.55
	2	14.1	15.38	12.82	11.86
	3	18.16	11.54	7.69	7.91
	4	5.13	5.13	3.85	6.73
	5	2.56	0	3.85	3.95
第III要因	1	71.41	70.77	67.69	69.23
	2	15.45	16.92	20	20.77
	3	7.76	9.23	9.23	6.92
	4	3.85	1.54	2.31	1.54
	5	1.54	1.54	0.77	1.54

疲労・抗過労への提言, pp.71-75, 2010

- 5) 塩見格一, 廣瀬尚三 “音声から眠気や疲労を検出する試みについて”, 第37回飛行機シンポジウム, 1999
- 6) 松村寿枝, 中川僚, 河村絵美, 吉村宏紀, 清水忠昭, “音声による疲労測定と従来の疲労測定指標による疲労測定”, 電子情報通信学会 2013年ソサイエティ大会講演論文集, A-4-24, 2013
- 7) 産業疲労研究会, “調査票のダウンロード”, 日本産業医学会, <http://square.umin.ac.jp/~of/service.html>, 参照 Dec. 13, 2013
- 8) 近藤暹, “疲労を測る”, pp. 65-78, 株式会社杏林書院, 2007

表3 中枢性疲労における自覚症状しらべ(単位【%])

		疲労前	1回目後	2回目後	3回目後
第I要因	1	30.3	33.33	37.37	30.3
	2	35.35	32.32	23.23	28.28
	3	18.18	14.14	15.15	12.12
	4	11.11	16.16	17.17	15.15
	5	5.05	4.04	7.07	14.14
第II要因	1	57.58	56.06	57.58	57.58
	2	13.64	33.33	27.27	28.79
	3	15.15	7.58	9.09	6.06
	4	10.61	3.03	6.06	6.06
	5	3.03	0	0	1.52
第III要因	1	60.91	60.91	63.64	63.18
	2	20	19.09	12.73	11.82
	3	6.36	6.36	6.36	7.36
	4	11.82	8.18	10.91	8.36
	5	0.91	5.45	6.36	9.27

謝辞

本研究は、2012年度に行った被験者実験をまとめたものである。被験者実験にご協力いただいた奈良高専1年生から5年生の学生の皆様に感謝する。

参考文献

- 1) 渡辺恭良, “疲労のメカニズム - これまでの仮説と現在の仮説”, 別冊・医学のあゆみ, 最新・疲労の科学—日本発: 抗疲労・抗過労への提言, pp.10-16, 2010
- 2) 鈴木綾子, 佐藤清, “発話音声から疲労を知る”, RRR, 65, 4, pp.30-33, 2008
- 3) 福田早苗, “質問票法による疲労の評価”, 別冊・医学のあゆみ, 最新・疲労の科学—日本発: 抗疲労・抗過労への提言, pp.47-51, 2010
- 4) 梶本修身, “疲労の生化学的バイオマーカー(血液, 尿)”, 別冊・医学のあゆみ, 最新・疲労の科学—日本発: 抗