

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7678497号
(P7678497)

(45)発行日 令和7年5月16日(2025.5.16)

(24)登録日 令和7年5月8日(2025.5.8)

(51)国際特許分類
G 1 6 H 50/30 (2018.01)F I
G 1 6 H 50/30

請求項の数 6 (全22頁)

(21)出願番号	特願2020-198855(P2020-198855)	(73)特許権者	504176911 国立大学法人大阪大学 大阪府吹田市山田丘1番1号
(22)出願日	令和2年11月30日(2020.11.30)	(73)特許権者	000001096 倉敷紡績株式会社 岡山県倉敷市本町7番1号
(65)公開番号	特開2022-86699(P2022-86699A)	(74)代理人	110000040 弁理士法人池内アンドパートナーズ
(43)公開日	令和4年6月9日(2022.6.9)	(72)発明者	清野 健 大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学 法人大阪大学内
審査請求日 前置審査	令和5年9月12日(2023.9.12)	(72)発明者	荒巻 公一 大阪府大阪市中央区久太郎町2丁目4番 31号 倉敷紡績株式会社大阪本社内
		(72)発明者	横山 剛房

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 体調評価方法、および、体調評価システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

被評価者の心拍データを検出する心拍検出手段と、前記被評価者の動作に伴う加速度データを検出する加速度検出手段と、前記被評価者の周囲温度を示す温度データを検出する温度検出手段とを使用し、

得られた前記心拍データと、前記加速度データと、前記温度データとに基づいて、予め前記被評価者の身体の動きと心拍数と周囲温度との関係を示す心拍予測モデルを作成し、

評価時に検出された前記心拍データと、当該心拍データが検出された際に同時に取得された前記加速度データおよび前記温度データに対応する前記心拍予測モデルから算出された心拍数の予測値との差に基づいて前記被評価者の体調評価を行うことを特徴とする、コンピュータが行う、体調評価方法。

【請求項2】

前記被評価者の周囲温度として前記被評価者の着衣の服内温度を検出する、請求項1に記載の体調評価方法。

【請求項3】

前記被評価者の心拍予測モデルの作成に用いられる前記周囲温度に上限と下限とが設定される、請求項1または2に記載の体調評価方法。

【請求項4】

前記心拍予測モデルが、前記被評価者についての過去の測定データに基づいて定められた、前記心拍データに関連する指標と前記加速度データに関連する指標と前記温度データ

に関連する指標とにより作成される、請求項 1～3 のいずれかに記載の体調評価方法。

【請求項 5】

体調評価結果として前記被評価者の熱中症発症リスクを判断する、請求項 1～4 のいずれかに記載の体調評価方法。

【請求項 6】

被評価者の生体情報としての、心拍データを検出する心拍検出手段と、動作に伴う加速度データを検出する加速度検出手段と、周囲温度を示す温度データを検出する温度検出手段と、

取得された前記生体情報に基づいて前記被評価者の心拍予測モデルを予め作成するとともに、評価時に測定された前記心拍データと、当該心拍データが検出された際に同時に取得された前記加速度データおよび前記温度データに対応する前記心拍予測モデルから算出された心拍数の予測値との差異を算出するデータ処理部とを備え、

前記データ処理部は、前記算出された差異に基づいて、前記被評価者の体調評価を行うことを特徴とする、体調評価システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、被評価者から得られた生体情報に基づいて、当該被評価者の体調評価を行う体調評価方法、および、体調評価システムに関し、特に、被評価者が高い環境温度下において大きな暑熱負荷がかかっている状態での体調評価を行う体調評価方法と体調評価システムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、無線 LAN などインターネットへの接続環境が整備されるとともに、ブルートゥース（登録商標）などの近距離での情報伝達を可能とする手段の発達、さらに、スマートフォンなどの高性能のモバイル機器や、体温や心拍数、発汗量などの身体データを測定することができる小型センサ機器の普及により、センサ機器で取得された被評価者の生体情報に基づいてその体調を評価する評価システムや、評価結果に基づいて被評価者の健康状態を管理して近年問題化している熱中症の発症リスクを軽減させる体調管理システムが実用化されている。

【0003】

このような体調の評価管理を行う体調評価システムとして、発明者らは、被評価者の身体の動きを把握する三次元加速度センサと心拍を検出する生体情報取得部とを備えたウェアラブルな生体信号を検出する検出装置を用いて、被評価者の作業の強度を示す作業負担指数と、被評価者の心拍指数と体力指数、さらに、熱中症発症リスク指数とを算出し、被評価者の熱中症を発症するリスクや体調を評価してその評価結果を被評価者にフィードバックする体調評価・管理システムを提案している（特許文献 1 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開 2019-185386 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記従来の体調評価システムでは、アンダーシャツの胸元に、着用者の心拍検知する電位計と、着用者の身体の動きを検出可能な 3 次元加速度センサ、服内温度を検出可能な温度センサを有する生体情報取得部が配置され、この生体情報取得部で取得された生体情報が被測定者の所持するスマートフォンなどの通信機器を介してインターネット上のクラウドサーバの情報処理部に送信される。情報処理部では、検出された心拍データと加速度データとの相関関係から得られる回帰直線に基づいて、当該被評価者の安静時の心拍数であ

10

20

30

40

50

ると推定される心拍指数を求めてその体調を評価する。また、心拍指数と回帰直線の傾きに基づいて求められた作業負担指数と、環境温度や作業者の服内温度の測定結果などから得られる暑熱負荷指数とに基づいて、熱中症発症リスク指標が算出される。

【0006】

発明者らが、上記の体調評価・管理システムを実際に運用しながらその正確性を検証している中で、下記の新たな課題が発見された

(1) 外気温が体温を超える環境においては、熱は温度が高いところから低いところに流れため、体温以下の外気温を想定した従来の方法ではリスクの判定が難しいこと

(2) 気温 24 から 35 、あるいは W B G T (Wet Bulb Globe Temperature : 湿球黒球湿度) 22 から 33 の環境においては、温度と熱ストレスが相關するため従来手法が有効であるが、この範囲外では相關しないと考えられる。そのため、温湿度情報のみでは暑熱負荷が正確に評価できること

(3) 暑さへの耐性は個人差があるため、同一の基準で判断できないこと。

【0007】

したがって、環境温度が体温と同等以上となるような高温状態では環境温度がそれほど高くはない場合とは別の評価手法を適用して被評価者の熱中症発症リスクを評価し、より確実に被評価者を熱中症から守ることができるようになることが嬉しいことが見いだされた。

【0008】

従来、環境の暑熱負荷を評価する指標として広く用いられてきた暑さ指標 : W B G T においても、安全基準として推奨されている上限値 33 を超えるような環境温度が体温と同程度と極めて高い場合における熱中症の発症リスクを正確に判定することができない。このため、被評価者がこのような高温環境下に置かれた場合の熱中症発症リスクを正確に判定できる評価方法を確立することは、極めて有用であると考えられる。

【0009】

本願は、上記従来技術の有する課題を解決することを目的とするものであり、被評価者の生体情報に基づいて体調評価を行う体調評価方法、体調評価システムにおいて、環境温度が高い高温環境における被評価者の体調評価を正確に行うことができる体調評価方法、ならびに、体調評価システムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記課題を解決するため、本願で開示する体調評価方法は、被評価者の心拍データを検出する心拍検出手段と、前記被評価者の動作に伴う加速度データを検出する加速度検出手段と、前記被評価者の周囲温度を示す温度データを検出する温度検出手段とを使用し、得られた前記心拍データと、前記加速度データと、前記温度データとに基づいて、予め前記被評価者の心拍予測モデルを作成し、評価時に検出された前記心拍データと前記心拍予測モデルから算出した予測値との差に基づいて前記被評価者の体調評価を行うことを特徴とする。

【0011】

また、本願で開示する体調評価システムは、被評価者の生体情報としての、心拍データを検出する心拍検出手段と、動作に伴う加速度データを検出する加速度検出手段と、周囲温度を示す温度データを検出する温度検出手段と、取得された前記生体情報に基づいて前記被評価者の心拍予測モデルを予め作成するとともに、評価時に測定された前記心拍データと前記心拍予測モデルから算出された予測値との差異を算出するデータ処理部とを備え、前記データ処理部は、前記算出された差異に基づいて、前記被評価者の体調評価を行うことを特徴とする。

【発明の効果】

【0012】

上記構成により、本願で開示する体調評価方法は、被評価者から得られた生体情報に基づいて作成された心拍予測モデルから算出された予測値と、評価時に測定された心拍データ

10

20

30

40

50

タとの差に基づいて、被評価者に掛かる暑熱負荷の大きさを正確に判断することができ、暑熱負荷による被評価者の体調の変化を正しく評価することができる。

【0013】

また、上記構成とすることで、本願で開示する体調評価システムは、暑熱負荷に起因する被評価者の心拍数の上昇から、正確に被評価者の体調を評価することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】図1は、実施形態として示す体調評価システムの構成例を説明するブロック図である。

【図2】図2は、本実施形態で説明する体調評価システムに用いられる、生体情報取得部の構成を説明する図である。

10

【図3】図3は、高温環境下での服内温度と心拍数の変化率との割合を調査した結果を示す図である。

【図4】図4は、本実施形態にかかる体調評価方法において、心拍予測モデルを作成する際に用いられる被評価者の過去の測定データの分布を把握するための評価マップを示す。

【図5】図5は、本実施形態にかかる体調評価方法における、心拍予測モデルと実際に測定された心拍数との差異を示すイメージ図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

本願で開示する体調評価方法は、被評価者の心拍データを検出する心拍検出手段と、前記被評価者の動作に伴う加速度データを検出する加速度検出手段と、前記被評価者の周囲温度を示す温度データを検出する温度検出手段とを使用し、得られた前記心拍データと、前記加速度データと、前記温度データとに基づいて、予め前記被評価者の心拍予測モデルを作成し、評価時に検出された前記心拍データと前記心拍予測モデルから算出した予測値との差に基づいて前記被評価者の体調評価を行う。

20

【0016】

上記の構成を有することで本願で開示する体調評価方法は、一定の暑熱負荷が掛かっている状況下での被評価者の心拍数を心拍予測モデルとして把握し、評価時に測定された心拍データとの乖離の大きさから、被評価者にかかっている暑熱負荷の大きさを判定して被評価者の体調評価を行うことができる。このため、特に高温環境下に置かれている被評価者の体調を正確に評価することができる。

30

【0017】

上記の体調評価方法において、前記被評価者の周囲温度として前記被評価者の着衣の服内温度を検出することが好ましい。服内温度は周囲温度に比べて変化が少なく、被評価者が置かれている熱的環境をより正確に表すことができる。

【0018】

また、前記被評価者の心拍予測モデルの作成に用いられる前記周囲温度に上限と下限とが設定されることが好ましい。発明者らの検討の結果、環境温度と心拍レートとの間に線形の関係が現れるのは所定の温度範囲に限られることが確認されたため、正確な体調評価を行うためには周囲温度を区分して、温度範囲に対応したデータ処理を行うことが好ましい。

40

【0019】

なお、前記周囲温度が前記被評価者の服内温度である場合には、下限値が29から32の間の温度に設定され、上限値が34から38の間の温度に設定されることが好ましい。

【0020】

さらにまた、前記心拍予測モデルが、前記被評価者についての過去の測定データに基づいて定められた、前記心拍データに関連する指標と前記加速度データに関連する指標と前記温度データに関連する指標とにより作成されることが好ましい。評価時の測定データとの差異を求める基準となる心拍予測モデルの作成に当たって、当該被評価者の過去の測定

50

データを用いることでより正確な予測モデルを作成することができる。

【0021】

さらに、体調評価結果として前記被評価者の熱中症発症リスクを判断することが好ましい。暑熱負荷による人体への影響として、社会問題となっている熱中症の発症リスクを正確に判断することが望まれているからである。

【0022】

本願で開示する体調評価システムは、被評価者の生体情報としての、心拍データを検出する心拍検出手段と、動作に伴う加速度データを検出する加速度検出手段と、周囲温度を示す温度データを検出する温度検出手段と、取得された前記生体情報に基づいて前記被評価者の心拍予測モデルを予め作成するとともに、評価時に測定された前記心拍データと前記心拍予測モデルから算出された予測値との差異を算出するデータ処理部とを備え、前記データ処理部は、前記算出された差異に基づいて、前記被評価者の体調評価を行う。

10

【0023】

このような構成とすることで、本願で開示する体調評価システムは、高い温度環境下にある被評価者の正確な体調評価を行うことができる。

【0024】

以下、本願で開示する体調評価方法、および、体調評価システムの実施形態について、図面を用いて説明する。

【0025】

20

(実施の形態)

[システムの全体構成]

まず、本願で開示する体調評価システムの一例についての全体構成を説明する。

【0026】

本実施形態で一例として説明する体調評価システムは、建設現場で働く作業者の生体情報を取得して各作業者の熱中症発症リスクを評価・管理する熱中症発症リスク管理システムに組み込まれて、各作業者を被評価者としてその体調を評価するシステムである。

【0027】

本願で開示する体調評価システムは、被評価者の生体情報として取得された心拍データと加速度データに基づいて、被評価者の安静時的心拍数に相当する心拍指数を算出することでその体調を評価するものである。このため、本実施形態で例示するような、評価対象者の生体情報として心拍(脈拍)情報と身体の動きを示す加速度情報とを取得して何らかの評価を行う各種の生体情報処理、評価するシステムに容易に組み込むことができ、得られた生体情報を共用して被評価者の体調を評価する機能を発揮するシステムとができる。

30

【0028】

なお、本願では、特に高温環境下で作業する被評価者の暑熱負荷による体調の変化を正確に把握して、熱中症の発症リスクなどを判定・評価するシステムを説明する。このような、周辺温度が高い高温環境下で作業者が作業する現場としては、例示する建設現場以外にも、溶鉱炉を有する製鉄所や、鋼板や鋼材を加工する高温炉がある機械製作工場などが考えられる。

40

【0029】

図1は、本実施形態で説明する体調評価システムが組み込まれた、熱中症発症リスク管理システムの各部の構成例を示すブロック図である。

【0030】

図1に示すように、体調評価システムが組み込まれた熱中症発症リスク管理システムは、被評価者である作業者10と、作業者10の生体情報に基づいてその体調評価を行うとともに熱中症の発症リスクを評価するインターネット20上のクラウドサーバ21と、一定数の作業者10が含まれる作業グループを監督する管理者である現場監督30と、さらに、複数の現場監督30をその管理下に置いて全体を把握し熱中症発症リスク評価システムの運用と維持管理等を行う事業所40とによって構成されている。

50

【0031】

なお、上記は一般的な建設現場を想定した汎用例であって、一人の現場監督30が管理する作業者10が一人の場合や、現場監督と事業所が不可分の状態となっている場合、事業所が複数含まれてより大規模に建設現場全体を管理する場合など、実際に熱中症発症リスク管理システムが導入される現場の構成に応じて、適宜異なる形態を採り得ることは言うまでもない。

【0032】

本実施形態で説明する体調評価システムでは、作業者10は、自身の生体情報を取得する生体情報取得部である生体センサ11が胸部に配置されたアンダーシャツ18を着用している。

10

【0033】

図2は、本実施形態で説明する体調評価システムで作業者が着用する、生体センサが配置されたアンダーシャツの構成例を示す図である。図2(a)が、アンダーシャツの表面を示し、図2(b)がアンダーシャツの裏面、すなわち、作業者の体表面に対向して接触する側を示している。

【0034】

図2に示すように、作業者10が着用するアンダーシャツ18の胸部には、生体センサ11が配置されている。より具体的には、生体センサ11は、アンダーシャツ18の表面18aの胸部中央部分に配置された、データ取得送信ユニット11aと、このデータ取得送信ユニット11aに接続され、アンダーシャツ18の裏面18b、つまり、皮膚に接する側の部分に左右方向に延在して配置された心拍センサの電極部11bとから構成されている。

20

【0035】

本実施形態にかかる体調評価システムでは、生体センサ11によって作業者10の心拍、服内温度、動作を検出するものであり、アンダーシャツ18の裏面に配置された心拍検出手段(心拍センサ)である電極が胸部に接触することで、より正確に作業者10の心拍を検出することができるようになっている。また、服内温度を検出する温度検出手段である温度センサ(図示省略)と、3次元方向の加速度を検出する加速度検出手段である加速度センサチップ(図示省略)とが、データ取得送信ユニット11a内に収容されている。

【0036】

30

生体センサ11と作業者11が所持する携帯端末としてのスマートフォン12とは、ブルートゥース(Bluetooth:登録商標)などの短距離間通信によって常時接続されていて、生体センサ11が取得する各種の情報は、隨時スマートフォン12に送られている。

【0037】

スマートフォン12は、データ受信部15とデータ送信部16とを備えていて、無線LANや携帯電話の情報キャリアを介して常時ネットワーク環境としてのインターネット20に接続されている。本実施形態の体調評価システムでは、体調評価システムの機能を利用して、スマートフォン12によって各作業者10の識別データと紐つけられるとともに、スマートフォン12が被評価者情報送信部13を有していて、スマートフォン12のデータ送信機能を利用して、作業者の識別情報とリンクした状態での生体情報をインターネット20上に配置されたクラウドサーバ21に送信している。

40

【0038】

なお、作業者が装着する測定装置と作業自体を識別するIDなどとの紐付けは、作業者が使用する生体センサの名称や管理番号をスマートフォンに入力する方法、スマートフォンの画像認識機能を利用して生体センサに添付された2次元、または、3次元の識別コードを読み込む方法、スマートフォンと生体センサとの間の短距離通信における識別コードを利用する方法、その他作業者がスマートフォン上のアプリケーションを利用して選択する方法など、各種の方法が利用できる。また、スマートフォンが作業者個人の所有物ではなくシステム利用の一環として貸し出されるもの場合には、当該スマートフォンを使用

50

する作業者の識別を、スマートフォンを用いたデータ入力、識別コードの読み込み、顔認証システムの利用、その他の方法を用いて登録することができる。

【0039】

また、スマートフォン12は、データを受信したり、音声を発したり、画像を表示したりすることができる。この機能を利用して、本実施形態にかかる体調評価システムでは、スマートフォン12の画像表示部17を利用して、作業者10に体調評価結果のフィードバックを行っている。また、スマートフォン12の各機能は、熱中症発症リスク管理システムにおいて、作業者10に対して熱中症の発症リスクを伝達して休憩すること促す警告報知機能を果たすための警告報知部14や、各作業者10自身の体調評価結果、また、熱中症発症リスク管理システムの機能として、作業者10や作業者10が属するグループ全体についての熱中症発症リスクの評価結果を見やすく表示する機能を果たすための画像表示部17として利用される。

10

【0040】

クラウドサーバ21は、内部にデータ受信部23とデータ送信部26とを備えていて、インターネット20を介した情報の授受を行う。また、クラウドサーバ21は、データ処理部としての評価判定部22を備えていて、体調評価システムの対象となる作業者10全員の生体情報データを取得し、それぞれの作業者10について、体調の善し悪しを示す体調評価指数を算出する。

20

【0041】

また、クラウドサーバ21の評価判定部22は、熱中症発症リスク管理システムにおいて、各作業者11が作業により受けている負荷の大きさを示す作業負担指数や、暑熱負荷指数を併せて算出し、これらの指数に基づいて各作業者10が熱中症を発症するリスクの度合いを示す熱中症発症リスク指数を算出する。さらに、評価判定部22では、作業内容や作業環境の共通性などによって形成された作業者10のグループに対しての熱中症の発症リスクを管理することができる。

20

【0042】

本実施形態で説明する体調評価システムである熱中症発症リスク管理システムでは、個々の作業者10の熱中症発症リスクを管理して、特に熱中症発症リスクが高いと判断された場合には、その情報を伝達して当該作業者が熱中症発症リスクを低減する対策を探ることを促す。このため、クラウドサーバ21は、熱中症発症リスクを評価、判定し、熱中症の発症リスクが高まっている場合にはその旨を当該作業者に警告する警告情報を作成する。

30

【0043】

また、クラウドサーバ21は、気象情報取得部25を有していて、インターネット20を介して気象情報を提供する情報サイトから気象情報を取得して、作業者10が作業している地域での気温や湿度、日照量などの現在時刻での気象条件や、今後数時間内における変化を見込んだ気象予報を取得することができ、熱中症の発症リスクの評価に気象条件を加味することができる。

30

【0044】

さらに、クラウドサーバ21はデータ記録部24を備えていて、熱中症発症リスク管理システムに登録されている作業者10それぞれからの生体情報の測定データ、体調評価結果、熱中症発症リスク指数、警告情報の作成履歴などを時系列に記録することができる。これにより、例えば、各作業者10の当日の現時点まで、または、前日までの体調評価の結果を踏まえて当日のオンラインでの体調評価を行うことや、熱中症の発症リスクの管理を行うことができる。また、過去の同じような気象条件における熱中症発症リスクの評価結果を踏まえて、より正確な熱中症の発症リスク評価を行うことができる。

40

【0045】

クラウドサーバ21は、インターネット20を介して、被評価者である作業者10の作業を建築現場で監督する管理者である現場監督30が使用する管理者情報端末としてのパソコン31と接続されている。このため、作業者10が作業する作業現場にいる現場監督

50

30は、パソコン31のデータ受信部33によって、クラウドサーバ21から随時送信される作業者10の生体情報のデータや、体調評価結果、熱中症発症リスクの評価結果、評価判定部22によって警告情報が生成されたか否かなどを把握することができる。

【0046】

クラウドサーバ21の評価判定部22は、作業者10が装着する生体センサ11から得られた心拍データ、加速度データ、服内温度データに基づいて、作業者10の体調を随時評価する。さらに、作業負担指数を算出して、服内温度情報と、インターネットを経由して取得した作業地の環境温度情報を加味して作業者10の熱中症発症リスク指数を算出する。

【0047】

なお、評価判定部22で行われる、作業者10の体調を評価する指数である心拍指数の算出や、作業負担指数の算出、ならびに熱中症発症リスク指数の算出と発症リスク評価の具体的な内容については、後に説明する。

【0048】

クラウドサーバ21は、データ記録部24に記録された判定対象の作業者10の過去の履歴情報としての履歴データや、気象情報取得部25で取得した作業地域の気象情報、さらには、判定対象の作業者と同じ現場で働いている、判定対象の作業者以外の作業者から取得された各種情報の変化などの環境情報に基づいて、作業者10個人の熱中症発症リスクの評価結果を補正してより現実に即した熱中症発症リスクの管理を行うことができる。

【0049】

なお、本実施形態で例示する体調評価システムにおいて、評価判定部22を備えるのはクラウドサーバ21に限られない。例えば、管理者情報端末や事業所の管理コンピュータ上に、クラウドサーバ21の各種機能を実装してもよく、その機能が実現できるのであれば、評価判定部が実装される場所や機器は問わない。

【0050】

現場監督30のパソコン31は、作業者10を含めた当該現場監督30が監督する作業現場に所属する作業者10についての生体センサ11で得られた各種の情報や警告情報が生成されたか否かを管理する情報管理部32を備えている。情報管理部32は、クラウドサーバ21から送信された情報に基づいて、それぞれの作業者10から得られた情報や警告情報が生成されたか否かの熱中症発症リスク評価の基準となる情報を常に最新情報として把握している。また、情報管理部32は、取得した各作業者10の熱中症発症リスクの評価判定結果やその他の環境情報を表示画像処理部35へと出力し、表示画像処理部35で液晶モニタなどの表示デバイス36上に表示される画面内容が調整される。

【0051】

このようにして、現場監督30は、自分が監督する作業現場で働く作業者10の情報や熱中症発症リスクなどを、全体として一元的に、または、作業者個々の詳細情報として見やすい画面で把握することができる。なお、表示画像処理部35で処理された表示デバイス36に表示される具体的な画面内容については、適宜形成されるシステムによって求められる情報を見やすく表示できればよいため、本明細書での具体的な詳細の説明は省略する。

【0052】

なお、本実施形態にかかる体調評価システムでは、作業者10の体調評価結果については、作業者10が所持するスマートフォン12の表示画面上に表示されるが、現場監督30のパソコン31では評価結果を把握できないように設定されている。これは、現場監督30としては、各作業者10の熱中症発症リスク評価結果が得られれば、熱中症の発症リスクを低減する対策を探ることができるためシステムとしての目的を達成できるとともに、体調評価結果はむしろ各人が自己管理の一環として把握すべき性質が強く、作業者10が体調評価結果を他人に知られることを嫌う傾向にあることを考慮した結果である。なお、体調評価結果を誰に、どのようにフィードバックすべきかについては、体調評価システムの目的や評価者、管理者の位置づけ等によって異なるものであり、それぞれのシステム

10

20

30

40

50

において適宜設定すべきものであると考えられる。

【0053】

現場監督30のパソコン31では、警告情報を通知した後に当該作業者10から得られる生体情報の変化や、作業者10からの警告情報の受領確認を受け取ることで、作業者10が熱中症の発症を予防するための対策を行ったか否かを確認することができ、作業者10が熱中症の発症を予防するための対応をとっていない場合には、対象の作業者10に繰り返して警告情報を伝達するなど、作業者10のさらなる注意喚起を行うことができる。

【0054】

なお、上記説明では、作業者10に熱中症を発症するリスクが高くなっていることを報知する警告情報を、クラウドサーバ21の評価判定部22で生成する例を説明したが、警告情報を、現場監督30のパソコン31に設置された情報管理部32で生成することができる。また、評価判定部22と、情報管理部32の双方で警告情報を生成するように設定することもできる。このようにすることで、作業現場を実際に監督している現場監督30のパソコン31から、評価判定部22での判定結果に先んじて警告情報を生成して対象となる作業者10に伝達することで、作業現場の実情に応じて熱中症の発症リスクをより低減することができる場合がある。

10

【0055】

クラウドサーバ21の評価判定部22、または、現場監督30のパソコン31で生成された警告情報は、現場監督30のパソコン31のデータ送信部34から、無線LANなどのローカルネットワークや携帯電話の情報キャリアを含めたネットワークを介して作業者10が装備するスマートフォン12に送信される。警告情報を受け取ったスマートフォン12の警告報知部14は、音声、画面表示、ランプの点灯または点滅、振動などの各種の情報伝達手段を用いて、作業者10に対して、自分が熱中症を発症するリスクが高まっていることを報知する。警告情報を確認した作業者10は、スマートフォン12のタッチパネルまたは操作ボタンなどを通じて警告情報を受け取った旨を報告するとともに、作業を中断して休息をとるなど熱中症を予防するための対策を実行する。

20

【0056】

作業者10のスマートフォン12は、作業者10が警告情報を確認して作業を中断したことを監督者30のパソコン31に送信し、監督者30は、作業者10が熱中症の発症を予防する対策をとったことを確認できる。

30

【0057】

さらに、本実施形態で説明する熱中症発症リスク管理システムでは、現場監督30が把握している作業現場での熱中症発症リスクデータを、作業者10のスマートフォン12に送信して、作業者10が、自分が働いている作業現場での熱中症発症リスクの現状を確認することができる。例えば、自分以外の作業者の熱中症発症リスクが高くなっていることが確認できれば、各作業者自身が熱中症の発症を積極的に予防する対応を探ることが可能となる。また、他に熱中症発症リスクの警告情報を受け取って作業を中断した作業者がいることがわかれれば、現場監督30からの自分宛の警告情報により素直に応じることが期待できる。

【0058】

なお、上述したように、作業者10が所有するスマートフォン12では、当該作業者10の現時点での体調評価結果や、過去数日間の体調評価結果の推移などの体調評価結果情報を、作業者が把握しやすい形態で図示して表示することができる。この体調評価結果の表示例については、後に詳述する。また、作業者11が所持するスマートフォン12は、当該作業者10の現在までの熱中症発症リスクの変化や、生体センサ11で取得された自身の心拍数、消費カロリーなどの関連情報を画面に表示して、作業者10自身が参照することができる。なお、体調評価結果以外の情報の表示形態は、それぞれの表示内容や表示する目的に応じて必要事項を見やすく表示することができればよいため、本明細書での詳細な説明は省略する。

40

【0059】

50

クラウドサーバ21は、インターネット20を通じて作業者10が所属する会社や事業所40内の管理コンピュータ41にも接続されていて、現場監督30のパソコン31に送信された作業者10の測定結果情報や、クラウドサーバ21が熱中症の発症リスクを判断するために用いた各種の情報を、リアルタイムで、事業所40の管理コンピュータ41に対して送信する。事業所40の管理コンピュータ41は、自身のデータ受信部42とデータ送信部43とを備えているため、インターネットを介して現場監督30のパソコン31とも接続されていて、現場監督30から作業者10に対して警告情報が正しく伝達されたか、作業者10が熱中症の予防対策をとったか、などの情報を確認し、必要に応じて所定の指示を行うことができる。このため、作業者10の熱中症発症リスクの回避を効果的にバックアップすることができる。

10

【0060】

また、クラウドサーバ21、現場監督30のパソコン31、および、事業所40の管理コンピュータ40は、インターネット20環境上で接続されているため、パソコン31や管理コンピュータ40の側からクラウドサーバ21にアクセスすることができ、クラウドサーバ21でのデータ処理内容を制御したり、評価判定部22での判定プログラムを更新したり、クラウドサーバ21から熱中症予防管理に必要な情報を適宜取り出したりすることができる。

【0061】

なお、上記説明においては、作業者が装備する携帯端末としてスマートフォンを例示したが、作業者の携帯端末はスマートフォンには限られず、携帯電話機やタブレット機器、さらには、熱中症発症リスク管理システムに特化した、情報の送受信が可能な専用の小型端末機器を用いることができる。また、現場監督が操作する管理者情報端末としては、例示したパソコンとして、デスクトップパソコン、ノートパソコン、タブレット型パソコン、小型サーバ機器などの、ネットワークを通じた情報の送受信とデータ表示、データ記録などが可能な各種の情報機器を採用することができる。

20

【0062】

さらに、上記説明では、現場監督の管理者情報端末から作業者の携帯端末に警告情報を送信する形態を説明したが、警告情報がクラウドサーバの評価判定部で生成される場合には、クラウドサーバから直接作業者の携帯端末に警告情報を送信するようにシステムを構成することもできる。

30

【0063】

さらに、作業者、現場監督、事業所内の管理部門を結ぶ情報伝達手段としては、上記例示したものに限られず、データの送受信を行う各種の情報通信手段を利用できることは言うまでもない。

【0064】

また、本実施形態で説明する体調評価システムにおいて、作業者10の心拍、腹内温度、動作を取得する生体センサ11の配置例は、図2に示したアンダーシャツ18に生体センサ11を固定する方法には限られない。たとえば、生体センサ11を接着性の高いシート状の装着力バー内に入れてこれを胸部に直接貼り付ける方法、生体センサ11を体に密着保持することができる伸縮性のある装着ベルトを用いて作業者の胸部に配置する方法などを採用することができる。しかし、図2に示したように生体センサ11を作業者10が着用するアンダーシャツ18に固定する方法によれば、作業者10が、生体センサ11を他の方法で装着する場合と比較して、センサを装着しているという特別な意識を緩和して必要な情報を取得することができる。また、仮に作業者10の発汗や作業中の体のひねりなどが生じた場合でも、アンダーシャツ18に固定された生体センサ11が、作業者10の体表面から外れてしまうことはなく、その装着位置も実質的に変化しない状態を維持することができる。このため、作業者10の心拍の一部を心拍データとして取得できない場合はあるものの、心拍データが全く取得できない状況が継続して続く事態は回避することができる。

40

【0065】

50

なお、作業者10の心拍データと加速度データとを取得するための生体センサ11の配置場所としては、上記した作業者10の胸部以外にも、作業者10の腰部、背中、上腕部や脚部などに配置される形態を採用することができる。また、本実施形態で説明したような、工事現場で働く作業者10を被評価者として熱中症の発症リスクを管理するシステムとしてではなく、たとえば、トレーニングを行うスポーツ選手などの体調評価を行う場合などでは、被評価者がスポーツウェアを着用することが考えられ、この場合も上半身に着用されるウェアの胸部に生体センサ11を配置することが最も合理的である。

【0066】

また、本実施形態にかかる体調評価システムにおいて、被評価者の生体情報である心拍データを取得する生体情報取得部として採用可能な生体センサは、上記例示したように電極部で電位の変化を検出して心拍データを取得するものに限られない。例えば、光学的に被評価者の血管の容積変化を検出する方法により脈拍を検出する方式のセンサや、手首に装着して血管の脈動を振動として検出する方式のセンサなど、装着した被評価者的心拍、または脈拍を検出可能な各種のセンサを採用することができる。

10

【0067】

さらに、被評価者の心拍データを取得する部分と被評価者の身体の動きを示す加速度データを検出する部分とは、上記例示したように同じ部材内に配置されている必要は無く、物理的に分離された別々の筐体内に配置されていても良い。被評価者の身体全体の動きを検出する上で、加速度データを検出する加速度センサは被評価者の上半身の体幹に近い部分に配置されていることが好ましい。このため、被評価者の心拍データを取得する脈拍センサとして手首に装着される腕時計型のものを採用する場合には、加速度センサを別の測定部材内に配置して、襟元や胸ポケットなどをを利用して被評価者の上半身に装着されるようになることが考えられる。

20

【0068】

また、被評価者の周囲温度を計測する温度センサとしては、上述の生体センサ11のように被評価者の服内温度を計測できるものが好ましい。服内温度は周囲の空気温度と比較して変動が小さく、また、被評価者に最も近い環境温度であるからである。これに対して、腕時計型センサで被評価者の脈拍と環境温度を検出する場合は、温度センサがむき出しどとになって主として周辺空気の温度を測定することとなるため、熱源となる炉からの距離による空気温度とその際の服内温度との関係を事前に把握しておくなど、腕時計型の生体センサによって測定された環境温度から被評価者に最も近い温度である服内温度を推定して補正するなどの対応を行うことが好ましい。

30

【0069】

なお、必ずしも温度センサを被評価者が身に着ける必要はない。例えば、作業環境内に設置した環境センサなどから取得した温度を周囲温度としてもよいし、非接触の温度計（例えばサーモカメラなど）で取得した熱画像から被評価者の体表面温度を抽出し、周囲温度としてもよい。

【0070】

[体調評価方法]

次に、本実施形態にかかる体調評価システムにおける体調評価方法について具体的に説明する。

40

【0071】

本実施形態にかかる体調評価システムでは、まず、被評価者が装着する測定装置（生体センサ）が備える心拍検出手段によって検出された被評価者の心拍データと、この心拍データが得られた時点での被評価者の身体の動きを表す指標である3次元加速度センサにより取得された加速度データとを取得する。得られた心拍データと加速度データとの関係を示す回帰直線の傾きから外挿して、加速度データが0の状態、すなわち、被評価者が安静状態にある時の心拍数である心拍指数を求め、この心拍指数によって体調評価を行う。

【0072】

また、本実施形態にかかる体調評価システムを、熱中症発症リスクを管理する管理シス

50

テムとして機能させる場合には、上記求められた心拍指数に基づいて作業者の作業の強度を示す作業負担指数を算出し、さらに、生体センサから得られた作業者の服内温度 (T_i) と、作業者が作業している現場の環境温度 (T_0) とに基づいて、作業者の暑熱負荷指数を算出する。そして、これら算出された作業負担指数と暑熱負荷指数とに基づいて、熱中症を発症するリスクを示す熱中症発症リスク指数を算出する。

【0073】

作業負担指数 W は、以下のようにして求められる。

【0074】

まず、被評価者である作業者が装着している生体センサによって、各部分区間で得られた心拍データである中央心拍数と加速度データである加速度偏差とに基づいて、所定時間（一例として2時間）以上の期間に取得されたデータから回帰直線を算出し、その傾きを心拍応答係数 r 、y 軸切片を切片心拍数 s とする。

10

【0075】

次に、それぞれの部分区間で得られた中央心拍数 HR を、下記の（式1）を用いて標準化心拍数 HR_s に変換する。

【0076】

$$HR_s = (s / r) (HR - r) + s \quad (\text{式1})$$

上記式（1）において、 s は標準応答心拍係数、 r は標準切片心拍数であり、標準的な心拍データと加速度データとの相関関係を示すと考えられる標準心拍応答モデルにおける、回帰直線の傾き (s) と y 軸切片の値 (r) である。

20

【0077】

ここで、標準心拍応答モデルとは、大人数を測定対象として得られた大規模データを作成された心拍応答モデルである。加速度（身体の動き）に対するヒトの標準的な心拍応答を表したモデルで、各種パラメータ及び所定の数式で表現できる。なお、大規模データは、当該現場における複数の作業員の過去数日間のデータであってもよいし、別の現場で予めサンプリングしておいた蓄積データであってもよい。好ましくは、当該作業者と同様の作業に従事する大人数の作業者を測定対象として得られた大規模データを基に、標準心拍応答モデルを作成するのがよい。これは当該作業に最適化された心拍応答モデルであり、その作業に従事する作業者の典型的な心拍応答を表すと考えられる。大規模データの基になる人数に特に決まりはないが、サンプリング数が多い方がより高精度に心拍応答を近似できる。好ましくは5人以上、より好ましくは50人以上である。蓄積期間についても特に決まりはないが、好ましくは同じ現場で2日以上、より好ましくは5日以上のデータを取得することが好ましい。

30

【0078】

このように、標準化心拍数 HR_s を算出することで、被評価者である作業者個々の特性による心拍データから、作業負担指数 W を算出するまでの個人差を補正することができる。

【0079】

また、心拍データの検出率が低い場合には、加速度データである加速度偏差に適当な係数を掛ける等、所定の数式を用いることで、加速度データのみを用いて作業負担指数を算出することができる。また、加速度偏差の値と、標準心拍応答モデルから算出された心拍データと加速度データとの相関を示す関数（相関曲線）とに基づいて算出された推定標準化心拍数を用いることができる。

40

【0080】

このようにして得られた標準化心拍数と加速度偏差とに基づいて、評価判定部が作業者の作業負担指数を算出する。このとき、評価判定部は、標準化心拍数を用いるかそれとも推定標準化心拍数を用いるかを判定する。また、評価判定部は、標準化心拍応答モデルに基づいて作成された補正マップを利用して、作業負担指数の算出に用いられる補正心拍数 HR_c を決定することができる。

【0081】

用いられる補正マップとしては、心拍データと加速度データとの相関が示されるものが

50

用いられ、加速度データの大小によって標準心拍応答モデルを示す相関曲線の上方側のデータと下方側のデータとについて、測定データに基づいて得られた標準化心拍数 HR_s をそのまま補正心拍数 HR_c として用いるか、それとも相関曲線の値、または、マップ上に規定値として示された補正心拍数 HR_c を用いるかが示される。なお、補正マップとしては、心拍検出率が高い場合に用いるものを別途用意して、心拍検出率が高い状態ではより標準化心拍数を採用する度合いを向上させることで、より正確に実情に沿った作業負担指數の算出を可能とすることができます。

【0082】

補正マップを用いて得られた補正心拍数 HR_c に基づいて、以下のように作業負担指數 W を計算する。

10

【0083】

まず、以下の式 (式2) を用いて補正心拍数 HR_c を代謝当量 $METs$ (Metabolic equivalents) に変換する。

【0084】

$$METs = a_{METs} \times HR_c + b_{METs} \quad (式2)$$

ここで、 a_{METs} と b_{METs} は所定のパラメータであり、呼吸計測実験に基づいて決定することができる。

【0085】

次に、以下の式 (式3) を用いて代謝当量 $METs$ を作業負担指數 W に変換する。

【0086】

$$W = a_W \times METs + b_W \quad (式3)$$

ここで、 a_W と b_W は所定のパラメータである。

20

【0087】

例えば、 $a_W = 0.2$ 、 $b_W = -0.2$ と設定した場合、作業負担の評価としては、作業負担指數 W が 0.6 以上であれば高代謝率の作業、すなわち、負担が大きい作業、 W の数値が 1 以上の場合は、きわめて代謝率の高い作業、すなわち作業者への負担がとても大きな作業とすることができます。

【0088】

また、暑熱負荷指數 H は、以下の式4によって求められる。

【0089】

$$H = (2.73T_i + 0.05T_0 - 89.2) / 10 \quad (式4)$$

30

作業現場の環境温度データ T_0 は、クラウドサーバの気象情報取得部により取得された作業現場の周囲の気温データ、作業者が屋内で作業している場合などではその作業場に配置された温度センサから得られる温度情報などとして取得されたものである。上記式1で、暑熱負荷指數 H が 0 より小さくなった場合は $H = 0$ とする。なお、暑熱負荷指數 H が 0.6 以上の場合は暑熱負荷が比較的高い状態、暑熱負荷指數 H が 1 以上である場合は暑熱負荷が極めて高い状態であると評価することができます。

【0090】

そして、熱中症発症リスク指數 R は、下記式5によって求められる。

【0091】

【数1】

40

$$R = \frac{aH-W}{a} \quad (式5)$$

【0092】

ここで、 a は、評価対象の作業者の暑熱順化に対応して規定される数値であり、暑熱順化ありの場合 $a = -1.8$ 、暑熱順化なしの場合 $a = -1.3$ とする。

【0093】

以上のようにして求めた熱中症発症リスク評価数値 R について、一例として、 R が 0.50

50

6未満の場合は発症リスクが低リスク、Rが0.6以上で1.0未満の場合は要注意の警戒レベル、Rが1.0以上の場合は高リスクであり熱中症発症の危険レベル、と判定することができる。なお、実際に熱中症の発生まで検証することはできないため、熱中症の発症リスクの判断基準を定めるに当たっては、熱中症の発症リスクをより厳しく判断できるように、すなわち、より安全サイドにたって決定すべきである。

【0094】

[高温環境下での体調評価]

(1. 高温環境下での心拍数の変化について)

上記本実施形態にかかる体調評価方法や熱中症発症リスク管理方法では、上記式4に示したように、暑熱負荷Hが、作業者の周辺気温の上昇に略比例して大きくなる。これは、Lind [Journal of Applied Physiology 18, 51 (1963)]の古典的研究に基づいており、現在の暑熱負荷の評価(ISO7243:2017など)において広く採用されている仮定である。

10

【0095】

しかし、発明者らの検討の結果、作業者の周囲の環境温度、特に、作業者の服内温度が体温(約36℃)を上回るような高温環境下となると、環境温度が上昇することによる熱的な負担が心拍数の上昇に影響する度合いが比例関係にはないことが確認された。環境温度の上昇にともなう心拍数の上昇は、深部体温の上昇と相關していることが知られており、心拍数の上昇の程度により暑熱負担(環境から体が受けるダメージ)を評価することができる。

20

【0096】

図3は、高温環境下における作業者の服内温度と心拍数の変動率についての測定結果を示している。

【0097】

図3に示すデータは、高温の建屋内で作業する作業者約10人について34日間の作業を行った際の、のべ約200,000点の測定結果に基づくものである。測定対象となつた作業者は、それぞれ図2に示した生体センサを装着した状態で作業を行った。ここでは、生体センサによって取得された心拍データ、加速度データ、服内温度データに基づいて、作業負担が小さい(2.5METs以下)状態における、服内温度と心拍数の関係をプロットした。

30

【0098】

図3中の「×」印(符号31)は、各環境温度において、心拍数の中央値を各作業者の平均心拍数(全計測データの平均値)で割った心拍数の変動率をプロットしたものである。破線(符号32)は、シグモイド型の関数を用いた近似曲線である。

【0099】

図3に示すように、服内温度が約30.5℃から約36.5℃の領域(領域33)では、服内温度に対する心拍数変化率が単調に増加していることがわかる。これに対し、服内温度が30.5℃以下と低い領域(領域34)と、服内温度が36.5℃以上の高温領域(領域35)では、服内温度が変化しても心拍数の変化は極めて小さいことがわかる。服内温度に依存した同様の変化傾向は、中程度の作業負担においても観測された。ただし、服内温度に依存した心拍数変化率の増加幅は、作業負担が高いほど小さかった。

40

【0100】

心拍数の増加は暑熱負担の上昇を意味するため、衣服内温度が36.5℃を超えるような環境では、環境の温湿度、WBGTあるいは衣服内温度は、暑熱負荷の指標として適切でないことを表している。

【0101】

そこで、発明者らは、暑熱負荷が大きく服内温度が体温レベル以上となることがある作業環境においては、上記式5として示した、従来の熱中症発症リスク指標Rに基づく評価とは異なる新たな体調評価のアルゴリズムを考案した。

【0102】

50

(2. 高温環境下での体調評価のアルゴリズム)

a. 基本的な考え方

図2に示した生体センサにより取得される被評価者的心拍数HRは、安静時の心拍数HR₀に運動によるエネルギー代謝による増加HR_M、静的な動きによる増加HR_S、暑熱負荷による増加HR_T、心理的影響やその他の要因による増加HR_Nを用いて、下記式6のように表される。

【0103】

$$HR = HR_0 + HR_M + HR_S + HR_T + HR_N \quad (式6)$$

なお、HR_SとHR_Nとは影響が小さく無視できるので、暑熱負荷による心拍数の増加は、

$$HR_T = HR - (HR_0 + HR_M) \quad (式7)$$

と表すことができる。なお、深部体温の変化は心拍数の変化に影響することが知られていること（日本人の場合は、20bpm/度と考えられる）から、暑熱負荷時の心拍数の変化（増大）を把握することで深部体温の変化（上昇）、すなわち暑熱負荷の変化（上昇）を検出することができる。さらに、（式7）の心拍数HRの予測モデルを個人ごとに当てはめて平常時の予想心拍数を推定し、リアルタイムで計測される心拍数と予測心拍数の差を評価することで、体調不良と関連した心拍数の異常変化を検出することができる。

【0104】

本願で開示する体調評価方法、および体調評価システムでは、上記式7で示した前提に基づいて、生体センサにより実際に計測された被評価者的心拍数HRと、その心拍数が計測された時点での身体の動き（活動量）を示す加速度偏差を使って求められた予測値との心拍数との差異を求める。そして、この心拍数の差異が、暑熱負荷によって引き起こされた心拍数の上昇であると判断し、この上昇度合いから被評価者に掛かっている暑熱負荷の大きさによる体調変化のリスクを評価するものである。

【0105】

b. 心拍数の予測

上述のように、本実施形態に示す体調評価方法、体調評価システムでは、被評価者の活動量に基づいて、測定されるべき心拍数を予測した予測モデルを作製する。この予測モデルは、使用される体調評価日ごとに更新される。

【0106】

心拍数HRの予測モデルは、下記式8で表される。

【0107】

【数2】

$$\widehat{HR} = HR_0 + \alpha_{HR} A_{RMS} + \beta_T f(T_{in}) \quad (式8)$$

ここで、

HR₀、 α_{HR} 、 β_T は個人ごとの定数パラメータ、 A_{RMS} は加速度偏差、

T_{in} は服内温度を表す。

$f(T_{in})$ は服内温度 T_{in} の関数で図3に示した関係を近似的に表す。

【0108】

加速度偏差 A_{RMS} は、生体センサから心拍データが検出された際に同時に取得された加速度データの偏差であり、加速度データが過去1分間の平均値 A として求められるため、1分間の平均値として以下の手続きによって算出される。

【0109】

10

20

30

40

50

まず、 x 軸、 y 軸、 z 軸それぞれの方向の加速度データ $\{A_x(t)\}$ 、 $\{A_y(t)\}$ 、 $\{A_z(t)\}$ について、時定数を 6 sec として、統計学の手法である指数移動平均法を用いてそれぞれの軸方向における加速度データの指数移動平均を求める。時定数は特に限定されないが、例えば 5 ~ 10 sec の範囲で身体の動きの特徴、および加速度センサの性能に応じて適宜決定すればよい。

【0110】

ここでは、 x 軸、 y 軸、 z 軸それぞれの方向の指数移動平均を、それぞれ $\{S_x(t)\}$ 、 $\{S_y(t)\}$ 、 $\{S_z(t)\}$ とする。

【0111】

次に、各軸の加速度データから、上述の指数移動平均を除去し、トレンド除去された時系列加速度を求める

たとえば、 x 軸の場合は、「 $A_x(t) - S_x(t)$ 」となる。

【0112】

そして、トレンド除去された時系列加速度について、以下の式（式9）を用いて各時刻での 2 乗を計算して和を求める

【0113】

【数3】

$$\Delta A^2(t) = [A_x(t) - S_x(t)]^2 + [A_y(t) - S_y(t)]^2 + [A_z(t) - S_z(t)]^2 \quad (\text{式9})$$

10

20

【0114】

上記求めた 2 乗和「 $A^2(t)$ 」の 1 分ごとの平均値「 A^2_{ave} 」を計算する。ここでは、データ点数の数で割って平均値とする。また、加速度の 2 乗平均「 A^2_{ave} 」の平方根「 A_{ave} 」を計算する。この A_{ave} が速度偏差 A_{RMS} である。なお、非数値データとなった場合は、異常値として除外する。

【0115】

服内温度 T_{in} は、生体センサから取得された温度データをそのまま用いることができる。なお、図3に示した、作業者の服内温度と心拍数の変動率についての測定結果を反映させて、上記式8の右辺第3項では「 $f(T_{in})$ 」としている。具体的には、服内温度 T_{in} の上限 T_{max} と下限 T_{min} をあらかじめ定めて、上限 T_{max} を上回る場合は上限の一定値を、下限 T_{min} を下回る場合には下限の一定値になる。

30

【0116】

一例として、図3に示した測定結果を踏まえて $T_{max} = 36.5$ 、 $T_{min} = 30.5$ とすることができます。服内温度 T_{in} が 30.5 ~ 36.5 の間では $f(T_{in})$ は単調増加関数（例えば区分線形関数）であるが、服内温度 T_{in} が 30.5 以下の場合、あるいは服内温度 T_{in} が 36.5 以上の場合には、それぞれ一定値をとるものとして計算する。

【0117】

c. 具体的な計算例

まず、本実施形態にかかる体調評価方法による体調評価の適用初日については、被評価者本人の過去のデータが存在しないため、本体調評価システムにおける過去の運用例によって得られた代表的データとしての下記式10の値を、上述の式8に代入して心拍数モデルを作製する。

40

【0118】

【数4】

50

$$\begin{aligned}
 \text{HR}_0 &= 77.4[\text{bpm}] \\
 \alpha_{\text{HR}} &= 54.1[\text{bpm}/\text{G}] \\
 \beta_T &= 4.84[\text{bpm}/^{\circ}\text{C}] \\
 f(T_{\text{in}}) &= \begin{cases} 0 & (T_{\text{in}} < 30.5) \\ T_{\text{in}} - 30.5 & (30.5 \leq T_{\text{in}} < 36.5) \\ 6 & (36.5 \leq T_{\text{in}}) \end{cases}
 \end{aligned}
 \tag{式 10}$$

10

【0119】

本実施形態にかかる体調評価を行う2日目以降の場合は、被評価者である当該作業者の過去のデータを用いて、以下の方法で式8で用いるパラメータを算出する。ここでは、まず、測定されている過去のデータ数を確認して、信用できる測定データの数に応じて、予測モデルの推定方法を異ならせている。これは、データ数が少ない場合にデータ数が多い場合と同じ推定方法を用いて誤った結果が得られてしまうことを回避する一方で、データ数が少ないので実際に当該作業者から得られたデータに基づいて予測モデルを作製することでより適切な体調評価を行うためである。

【0120】

図4に、測定データ数の評価に用いる服内温度 T_{in} と加速度偏差 A_{RMS} との評価マップを示す。

20

【0121】

図4に示すように、生体センサから有効に測定された服内温度 T_{in} のデータについて75%点 ($T_{\text{in}}^{(3Q)}$: 第3四分位点) を上下方向の境界線41として、 $T_{\text{min}} = 30.5$ を下限42、 $T_{\text{max}} = 36.5$ を上限43とする領域を定める。また、加速度偏差 A_{RMS} については、安静状態ではなく静的ではあるが作業を行っていると考えられる $A_{\text{RMS}} = 0.05$ を下限44、比較的大きな動きを伴う中程度以上の作業を行っていると考えられる $A_{\text{RMS}} = 0.25$ を中間の境界線45とする。なお、加速度偏差 A_{RMS} については、上限は設けない。

30

【0122】

このようにして、縦方向(服内温度 T_{in})と横方向(加速度偏差 A_{RMS})に2つ、全部で4つに分けられた領域(図4に示す領域A、領域B、領域C、領域D)それぞれに含まれる測定点について、中央値を求める。そして、下記式11に示す4点に対して上記の式8を最小二乗法で当てはめる。

【0123】

【数5】

$$\left\{ \left(A_{\text{RMS},j}^{(60s)}, T_{\text{in},j}, \dot{\text{HR}}_j^{(60s)} \right) \right\}_{j=1,2,3,4}
 \tag{式 11}$$

40

【0124】

ただし、計算の結果、 $\text{HR} < 20$ [bpm/G]、または、 $T < 2$ [bpm/] となった場合は、上述の式11を用いてそれぞれのパラメータを決定する。

【0125】

d. 暑熱リスクの評価

最後に式8に基づいて求められた各測定時点での推定心拍数と、実際に生体センサで測定された心拍数の差異に基づいて、当該作業者の測定時点での暑熱負荷リスクを判定する。

【0126】

50

図5は、推定心拍数と測定結果としての心拍数との違いを示すイメージ図である。

【0127】

図5に示すように、暑熱負荷が掛かっている状態では、各測定時点の測定データを上述の式8に代入して得られた推定心拍数 $\dot{H}R_T$ に対して、実際に生体センサで測定された心拍数 $\dot{H}R$ が高い値となる。本実施形態にかかる体調評価では、図5中に黒矢印で示した、測定された心拍数 $\dot{H}R$ の推定心拍数 $\dot{H}R_T$ からの上昇度合いに基づいて、測定時点での暑熱負荷のリスクを評価する。

【0128】

評価時点を $t = t_k$ とすると、まず直前の測定時点 $t = t_{k-1}$ の加速度偏差 $A_{RM}^{(60s)}$ 、服内温度 T_{in} 、および、現時点での中央心拍数 $\dot{H}R^{(60s)}$ を参考する。

【0129】

【数6】

$$\widehat{\Delta H\dot{R}_T}[k-1] = \tilde{\beta}_T \int(T_{in}[k-1]) \quad (式12)$$

$$\Delta H\dot{R}[k] = H\dot{R}^{(60s)}[k] - \left(\widehat{H\dot{R}}_0 + \tilde{\alpha}_{H\dot{R}} A_{RM}^{(60s)}[k-1] \right) \quad (式13)$$

10

20

【0130】

式12で求められた $H\dot{R}_T[k-1] > 10 \text{ bpm}$ で、かつ、式13で求められた $H\dot{R}[k] > 15 \text{ bpm}$ であれば、高温負荷に晒されている「注意」状態であると判断し、長時間の作業とならないように注意を促す。

【0131】

また、上記の T_{in} を、以下の式14と式15に代入する。

【0132】

【数7】

$$\widehat{\Delta H\dot{R}_T}[k-1] = \tilde{\beta}_T \int(T_{in}[k-1]) \quad (式14)$$

30

$$\Delta H\dot{R}[k-1] = \widehat{H\dot{R}}_0 + \tilde{\alpha}_{H\dot{R}} A_{RM}^{(60s)}[k-1] + \tilde{\beta}_T \int(T_{in}[k-1]) \quad (式15)$$

【0133】

式14で求められた $H\dot{R}_T[k-1] > 10 \text{ bpm}$ で、かつ、式13で求められた $H\dot{R}[k]$ を用いて、中央心拍数 $H\dot{R}^{(60s)}[k]$ が $H\dot{R}^{(60s)}[k] > H\dot{R}[k-1] + 15 \text{ bpm}$ の状態が一定以上、一例として3分間継続した場合には、心拍数が異常に上昇する「異常検知（危険）」状態であると判断する。

40

【0134】

判定結果である「注意」状態、または、「異常検知（危険）」状態であることは、作業者が所持する携帯端末としてのスマートフォンなどで表示して当該作業者への注意喚起を行うとともに、現場監督者や作業者全体を管理している部門に通報して、該当する作業者が適切な対応を行ったかの確認を行うことが好ましい。

【0135】

以上のように、本願で開示する体調評価方法、および体調評価システムでは、被評価者が高温環境下に置かれ高い暑熱負荷が掛かっている状態であっても、それぞれの被評価者の体調を正確に判定することができる。

【0136】

50

なお、本実施形態で示した体調評価システム、および体調評価方法は、常に高温環境下に置かれていと想定できる被評価者に対して主たる体調評価手段として適用することができる。また、本実施形態で開示する体調評価システム、体調評価方法を、従来の中央心拍数に基づいて被評価者の体調を評価する体調評価システムと組み合わせて、生体センサが測定した被評価者の周囲温度を示す温度データから被評価者が高温環境下に置かれていると判断できる場合には、データ処理を上記実施例のように切り替えてより正確な体調評価を行う評価方法として付属的に適用することができる。

【0137】

なお、生体センサで取得される被評価者的心拍データには、個々の体調不良に関する心拍数の増加分 HR が含まれている。例えば、風邪やインフルエンザなどの感染症に罹患している場合や体内に炎症がある場合に、心拍数が増大して現れるものである。本評価法は、これら別要因による心拍数の上昇も検出可能であるため熱的要因以外の体調変化の評価も可能である。

【0138】

なお、上記実施形態では、本願で開示する体調評価システムが、建設現場などで働く作業者を被評価者とした熱中症発症リスク管理システムに搭載された例を示したが、上記例示したものには限らず、体調評価のみを行うためのシステムや、取得された生体情報に基づいてそれぞれの被評価者の作業負担指数、体調評価指数、暑熱負荷指数、運動負荷指数、その他の各指数を評価する生体情報処理システムに搭載することができる。

【0139】

このため、例えば運動選手のトレーニング時における体調管理や、高齢者施設での入所者の体調管理システムなど、被評価者や測定される生体情報、その評価目的が異なる幅広い内容での生体情報処理を行うシステムにおける体調評価のための手段として利用できる。

【産業上の利用可能性】

【0140】

本願で開示する体調評価方法、および、体調評価システムは、被評価者が高温環境下にあって、従来の中央心拍数である心拍指数を用いた体調評価では正しい評価ができない場合に適用して、暑熱負荷時における正確な体調評価を行うことができる。このため、被評価者に大きな暑熱負荷が掛かっていることが想定される場合に限らず、被評価者の周囲温度が一定以上となった場合に切り替えて適用される体調評価手法として、作業現場等において作業者の体調を評価するものをはじめとして、各種の被評価者を評価対象とする体調評価方法、および、そのシステムとして極めて有用である。

【符号の説明】

【0141】

- 10 作業者（被評価者）
- 11 生体センサ（生体情報取得部）
- 11 a データ取得送信ユニット（加速度検出手段、温度検出手段）
- 11 b 心拍センサ電極部（心拍検出手段）
- 22 評価判定部（データ処理部）

10

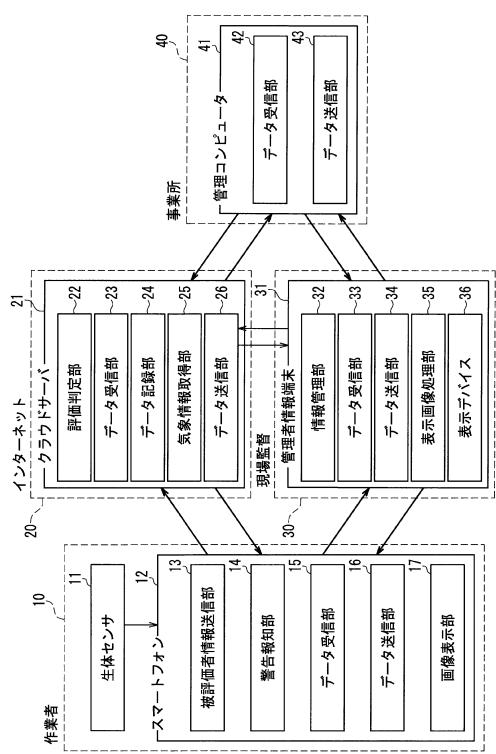
20

30

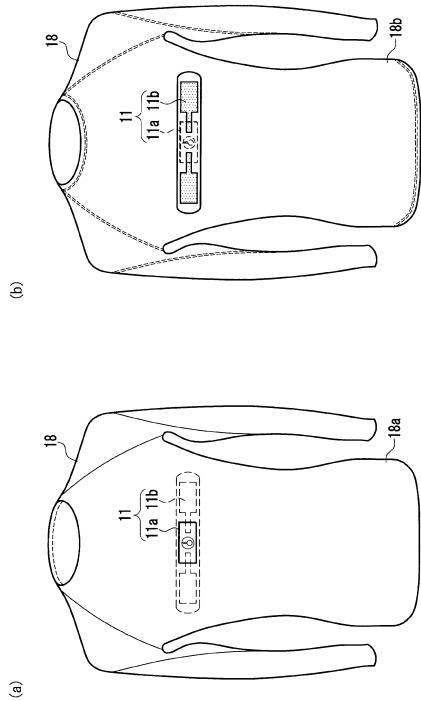
40

50

【図面】
【図 1】



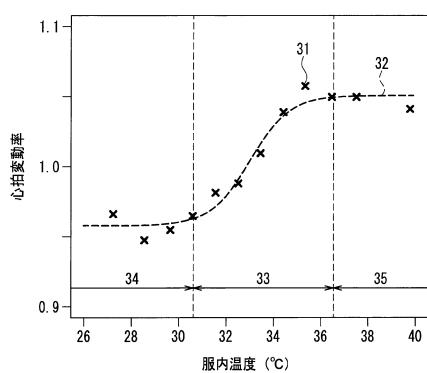
【図 2】



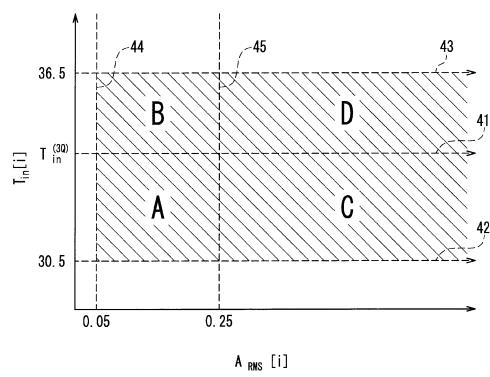
10

20

【図 3】



【図 4】

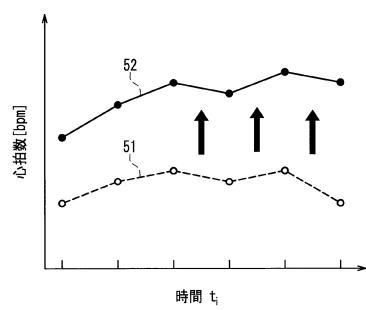


30

40

50

【図 5】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

大阪府大阪市中央区久太郎町 2 丁目 4 番 3 1 号 倉敷紡績株式会社大阪本社内

審査官 森田 充功

(56)参考文献 特開 2019-185386 (JP, A)

特開 2018-140162 (JP, A)

特開 2020-113118 (JP, A)

特開 2018-000405 (JP, A)

田中正敏他 5 名, 循環機能評価に及ぼす気温の影響, 日衛誌, 第 35 卷、第 6 号, 日本, 1981 年 02 月, 第 814 頁 - 第 820 頁

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB 名)

G 16 H 10 / 00 - 80 / 00