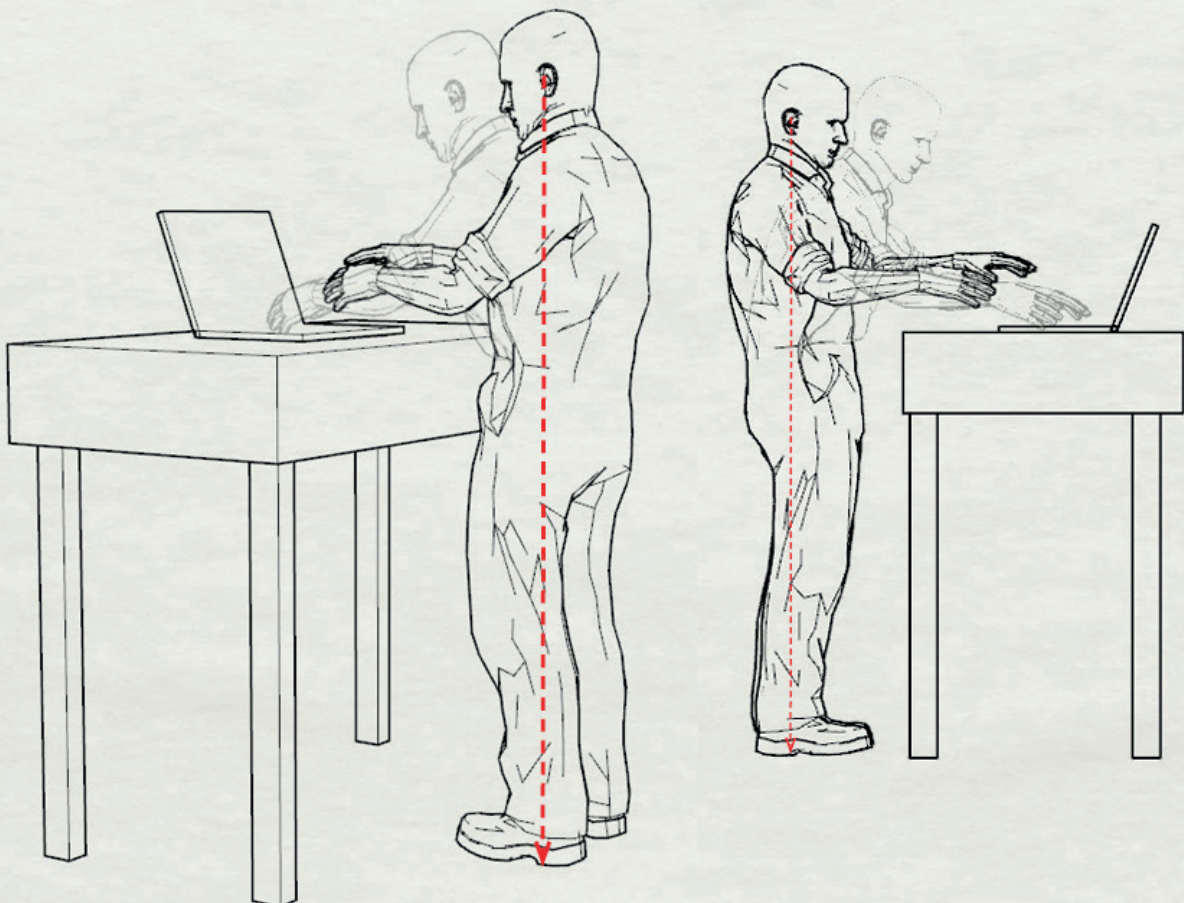


AMÉNAGEMENT ERGONOMIQUE DU POSTE DE TRAVAIL





AMÉNAGEMENT ERGONOMIQUE DU POSTE DE TRAVAIL

Principes tirés des sciences de l'entraînement, des sports et du travail visant au soulagement de l'appareil locomoteur

Urban Daub
Sarah Gawlick
Florian Blab

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und
Automatisierung IPA - Stuttgart
Partenaire du projet: Ergoswiss AG
Février 2018
DOI: 10.24406/IPA-N-481686

Croquis:

Michael Brück
Jérémy Lefint

TABLE DES MATIÈRES

1 Introduction.....	5
2 Influence du réglage en hauteur de tables sur l'appareil locomoteur	6
2.1 Contrainte et astreinte.....	6
2.2 Adaptation de l'organisme aux stimuli de contrainte récurrents.....	6
2.2.1 Stimuli de contrainte dynamiques	7
2.2.2 Stimuli de contrainte statiques.....	7
2.2.3 Stimuli de contrainte trop faibles	7
2.3 Classification en fonction de modèles de contrainte dans le cadre d'activités de production	7
2.3.1 Conséquences de répétitions fréquentes sur l'appareil locomoteur	8
2.3.2 Conséquences de contrainte statique sur l'appareil locomoteur	8
2.3.2.1 Postures contraintes	10
2.3.2.2 Causes de contrainte statique inaperçue	10
2.3.3 Conséquences de charges lourdes sur l'appareil locomoteur.....	11
2.4 Principes d'aménagement ergonomique de la table de travail.....	12
2.4.1 Prévention de la posture avec buste penché vers l'avant aux postes de travail debout .	13
2.4.2 Nuque	14
2.4.3 Positionnement du poignet et mouvements	14
3 Aménagement de postes de travail debout	16
3.1 Déduction de la hauteur de table selon des critères de posture.....	16
3.2 Déduction de la hauteur de table selon les spécifications en vigueur.....	16
4 Position assise correcte.....	18
4.1 Hauteur de table et de chaise de postes de travail assis	18
4.1.1 Poste de travail assis où la hauteur de la chaise et de la table peut être réglée	18
4.1.2 Poste de travail assis où seule la chaise est réglable, mais pas la table	18
4.2 Posture assise.....	18
4.2.1 Contradictions portant sur la recommandation d'UNE posture assise optimale	18
4.2.2 Déduction de la posture assise selon des critères de posture	19
4.3 Comportement d'assise	19
5 Espaces de préhension et classification des outils de travail	20
6 Éclairage artificiel.....	22
7 Bibliographie	24
Mentions légales.....	28

1 INTRODUCTION

Les troubles musculosquelettiques représentent depuis des années le type de maladie responsable du plus grand nombre de jours d'arrêt de travail pour cause de maladie en Allemagne [1, 2]. Les douleurs affectant le dos ainsi que la zone des épaules, la nuque et les bras occupent ici un important rôle [3, 4]. Leur origine ne se laisse souvent pas limiter à des causes individuelles, mais le succès de la prévention de telles affections suppose la réduction de l'influence du travail sur ces causes [4, 5].

En ce qui concerne les maladies professionnelles, les estimations du nombre de jours d'absence pour cause de maladie sont supérieures de 1,6 à 2,2 fois lorsqu'elles ne sont pas consécutives à un accident [6]. Cette hausse pourrait s'expliquer par le fait qu'elles apparaissent de manière insidieuse au fil du temps et se manifestent alors de manière renforcée.

Les atteintes à la santé à long terme et les maladies chroniques augmentent avec l'âge [7]. Au vu des évolutions de la démographie, la sécurité et la santé au poste du travail vont continuer à gagner en importance du point de vue des politiques d'emploi [8, 9].

L'ergonomie couvre la conception et les détails de produits, les postes de travail et les systèmes de travail complexes en fonction de critères définis par des caractéristiques ou par les compétences de l'homme [10].

Les mesures ergonomiques ont notamment une grande chance d'être mises en œuvre et aussi acceptées lorsque le contexte a été expliqué aux personnes impliquées et qu'elles ont pu s'identifier avec ces dernières. La sensibilisation et la compréhension des principes ergonomiques sont donc toujours plus au centre des interventions ergonomiques.

Le présent guide a été rédigé à la demande de la société Ergoswiss AG et a pour but d'apporter des informations de fond physiologiques et issus des sciences de l'entraînement aux recommandations actuelles relatives à l'aménagement ergonomique du poste de travail afin de permettre à ses lecteurs d'en

déduire des mesures individuelles. Un réglage correct du poste de travail exige aussi de comprendre les raisons de la survenue fréquente de cas de maladies liées au travail et affectant l'appareil locomoteur.

D'après les normes EN 614-1 et EN ISO 6385, l'objectif de l'ergonomie vise «[...] l'optimisation du bien-être des personnes et la performance globale des systèmes».

2 INFLUENCE DU RÉGLAGE EN HAUTEUR DE TABLES SUR L'APPAREIL LOCOMOTEUR

La pertinence d'un point de vue ergonomique de l'adaptation correcte de la hauteur de travail n'est généralement pas remise en question. Mais l'étendue dans laquelle la hauteur de travail peut avoir des conséquences sur l'appareil locomoteur ne peut être supposée comme étant connue de tous. C'est la raison pour laquelle il convient dans un premier temps de décrire les différentes réactions physiologiques de l'organisme à des stimuli externes étant associés à des modèles de contrainte tirés du quotidien professionnel. Cette approche peut contribuer à déduire un réglage ergonomique de la table de travail.



Figure 1 Une charge identique (le poids de la caisse) entraîne une astreinte variée en fonction de l'individu

2.1 CONTRAINTE ET ASTREINTE

Les termes de contrainte et d'astreinte ont été décrits dès 1953 par M. Lehmann [11]. La contrainte décrit l'exercice d'une force sur l'organisme qui, en fonction de l'état de santé et du niveau d'entraînement, entraîne une astreinte individuel-

le [12].

D'après M. Olivier [13], l'astreinte dépend de conditions pré-alables propres à l'individu, comme les caractéristiques physiques, les capacités et les compétences.

Un poste de travail auquel des éléments pesant 10 kg doivent régulièrement être manipulés présente en permanence la même contrainte. En fonction de la force et de l'endurance de chaque employé à son poste de travail, l'astreinte peut prendre une forme très individuelle.

La norme EN ISO 6385 décrit les termes de la manière suivante:

- Contrainte de travail (charge externe de travail): «conditions et sollicitations externes qui, dans un système de travail, influencent la charge interne physique et/ou mentale d'une personne»
- Astreinte de travail: «réponse interne d'un travailleur soumis à une charge externe de travail, qui dépend des caractéristiques personnelles de ce dernier (par exemple corpulence, âge, capacités, habiletés, compétences, etc.)»

2.2 ADAPTATION DE L'ORGANISME À DES STIMULI DE CONTRAINTE RÉPÉTÉS

Le développement musculaire constitue la réponse naturelle de l'organisme à des stimuli récurrents qui exigent un effort physique. Ce phénomène est entre autres connu dans le domaine de l'entraînement. Mais l'organisme s'adapte aux stimuli de contrainte répétés également dans tous les autres tissus de l'appareil locomoteur afin de réduire l'astreinte générée par la contrainte [14]. En cas d'activité physique, on constate par exemple des modifications du cartilage, des os, du tissu conjonctif ainsi que des tendons [15].

2.2.1 Stimuli de contrainte dynamiques

Des temps de récupération adéquats prévus de manière individuelle dans le cadre de l'entraînement sont essentiels pour les processus d'adaptation [14, 16]. L'organisme est aussi en mesure de compenser temporairement de fortes contraintes et de se régénérer rapidement suite à une brève surcharge. Des signes de surcharge peuvent apparaître en cas d'exposition à une contrainte continue ou fortement répétitive ou encore en cas de manipulation de charges lourdes. Des durées de récupération insuffisantes portent préjudice aux processus de restauration et donc à la capacité de charge [14], risquant ainsi d'entraîner des maladies musculosquelettiques susceptibles d'adopter une forme chronique.

Contrairement à un entraînement sportif, l'alternance entre contrainte et régénération dans le cadre du quotidien professionnel n'est pas régie par le plan d'entraînement individuel, mais bien par les temps de travail et les activités exercées.

- L'appareil locomoteur peut généralement bien compenser les stimuli de contrainte dynamiques.
- Il convient d'éviter les charges élevées et les répétitions prolongées ou de prévoir un temps de récupération suffisant
- Il est possible de contribuer aux processus de récupération par l'adoption de stimuli de contrainte dynamiques modérés. Les rotations de tâches peuvent ainsi avoir un effet de soulagement.

2.2.2 Stimuli de contrainte statiques

Les postures statiques immobiles ont généralement un effet négatif sur la musculature et les articulations. Toutes les structures de l'appareil locomoteur nécessitent une alternance entre charge et décharge afin d'être alimentées de manière suffisante en nutriments et de pouvoir dégrader les produits finaux du métabolisme et le CO₂ [10, 17, 18]. La perturbation de cet échange par une contrainte statique continue, notamment à des postures défavorables comme la tête en bas, entraîne une diminution de la capaci-

té de charge et l'apparition de troubles musculaires et articulaires [19-21].

- Il convient si possible d'éviter les stimuli de contrainte statiques.

2.2.3 Stimuli de contrainte trop faibles

L'absence prolongée de stimuli de contrainte exercés sur l'appareil locomoteur provoque la dégénérescence des structures musculosquelettiques et une réduction générale de la capacité de charge [22].

Les personnes occupant des postes de bureau présentent souvent des maladies du dos et des hernies discales qui ne sont pas dues à une contrainte excessive du rachis lombaire (cf. chapitre 4 Position assise correcte). Leur apparition est bien plus consécutive à une réduction de l'activité et à un niveau d'entraînement insuffisant de la musculature stabilisatrice de la colonne vertébrale.

- Les principaux objectifs de l'ergonomie consistent à prévenir aussi bien les contraintes excessives que les contraintes insuffisantes [23].

2.3 CLASSIFICATION EN FONCTION DE MODÈLES DE CONTRAINTE DANS LE CADRE D'ACTIVITÉS DE PRODUCTION

Les contraintes liées au travail auxquelles l'appareil locomoteur est exposé peuvent être réparties en trois catégories : contraintes liées à la répétition, contraintes liées à la posture et contraintes liées à la charge manipulée [20, 24]. La probabilité de divers troubles physiques augmente en fonction du type de contrainte.

Des contraintes liées à la répétition et à la posture se produi-

sent dans le cadre de la production, principalement en rapport avec des processus de travail fortement standardisés, par exemple sur les chaînes de construction et se caractérisent par les propriétés suivantes:

- Répétition fréquente d'un cycle de travail à des intervalles généralement brefs
- L'ordonnement des postes de travail optimisé en fonction du temps de traitement et du déroulement entraîne la plupart du temps des contraintes unilatérales
- En partie des activités liées à une importante proportion de contrainte statique exercée sur certaines articulations. Certains postes de travail mal aménagés peuvent par exemple nécessiter de toujours relever les épaules pour exécuter une tâche répétitive
- Haute fréquence de répétition ou posture statique en cas de charge faible

On retrouve en revanche des contraintes liées aux charges plus souvent à des postes de travail qui ne sont pas fortement standardisés.

→ Les mesures ergonomiques doivent être prises dans l'ordre hiérarchique du « principe TOP » (mesures Techniques, mesures Organisationnelles, mesures Personnelles). Déterminé en Allemagne par l'art. 4 de la Loi sur la protection au travail.

2.3.1 Conséquences de répétitions fréquentes sur l'appareil locomoteur

Le concept utilisé à l'échelle internationale de « lésions attribuables au travail répétitif » (LATR) décrit des tableaux pathologiques consécutifs à des stimuli de faible intensité et à haute fréquence. Alors qu'un tel stimulus isolé n'expose l'appareil locomoteur à aucune contrainte importante du fait de sa faible intensité, des LATR se développent suite à une répétition élevée de séquences de mouvements monotones et de l'absence de possibilités de régénération suffisantes. Nous savons

de la physiologie du sport qu'une régénération insuffisante est considérée comme une cause de lésions musculaires et tendineuses [16].

Des lésions peuvent alors mieux ou moins bien guérir en fonction de l'irrigation sanguine d'un tissu et des contraintes auxquelles il est soumis au quotidien. Contrairement aux muscles, le tissu tendineux affiche une faible vascularisation [15] et doit néanmoins résister à d'importantes contraintes au quotidien. Il en résulte donc une durée de régénération proportionnellement longue. Les microlésions des jonctions musculo-tendineuses peuvent se traduire par des troubles chroniques en cas de légers dommages et de contrainte répétitive continue. C'est la raison pour laquelle on soupçonne les activités fortement répétitives d'être à l'origine de cas d'épicondylite ou de tendinite [20, 25].

De par la faible efficacité démontrée par ces traitements dans le cas de l'épicondylite et du syndrome du canal carpien, une réduction des contraintes ou une optimisation ergonomique du poste de travail revêt une grande importance [26, 27]. D'une manière générale, mieux vaut prévenir que guérir [28].

- Il convient de prendre les premiers troubles au sérieux. Des extensions et des mesures favorisant l'irrigation sanguine peuvent être conseillées en fonction de l'activité et de l'état des tissus.
- En cas d'activités répétitives, la position de l'articulation exerce une influence sur la capacité de charge et doit impérativement être prise en compte (cf. 2.4.3 Positionnement du poignet et mouvements).

2.3.2 Conséquences d'une contrainte statique sur l'appareil locomoteur

L'apport suffisant d'oxygène et de nutriments et l'évacuation de produits finaux du métabolisme et de CO₂, dont la quantité augmente simultanément à l'activité des cellules musculaires, doivent toujours rester équilibrés afin de permettre un mode de travail physiologique [29].

Mais l'échange de nutriments des cellules musculaires permis par la contraction du muscle actif se réduit dès l'apparition d'une faible contrainte statique [30].

Une théorie décrite à plusieurs reprises portant sur l'apparition de maladies musculosquelettiques suppose une sous-alimentation des muscles ou du tissu tendineux due à une contraction statique continue. À long terme, cela provoque une hausse de la tendance aux blessures due à une réduction de la capacité de charge [31, 32]. La contrainte statique altère aussi le reflux veineux. Les veines appartiennent au système à basse pression et leur fonction de reflux dépend d'une alternance de contraction et de décontraction musculaire appelée « pompe musculaire » [33]. Comparé à une contrainte statique, un travail dynamique peut être exécuté pendant une durée prolongée et sans fatigue [10]. De plus, la récupération est plus rapidement effective suite à un travail musculaire dynamique par rapport à un travail statique [14]. La durée pendant laquelle il est possible de supporter une contrainte statique dépend du niveau de force musculaire individuel (Figure 2).

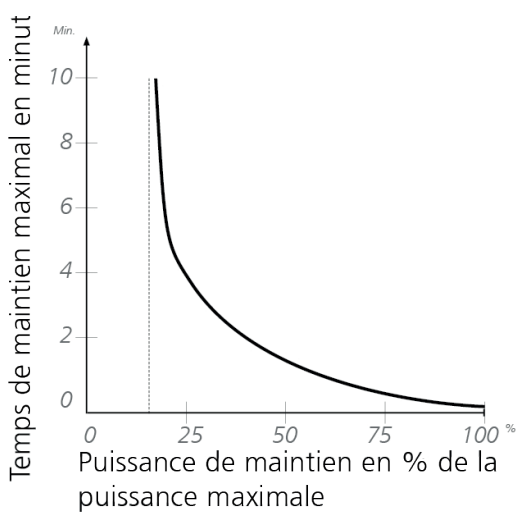


Figure 2 Temps de maintien maximal de fractions de la puissance statique maximale calculé pour différents groupes de muscles et sujets (cf. [35]).

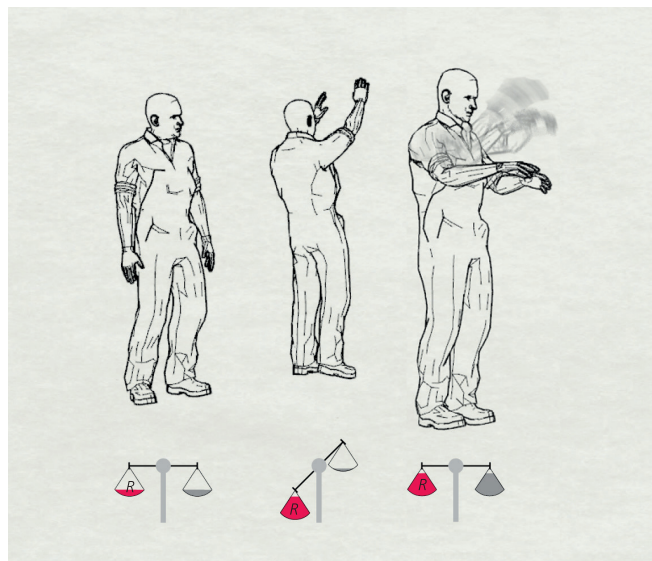


Figure 3 Le besoin en irrigation (R : plateau de pesée rouge) et l'apport effectif de nutriments (plateau de pesée gris) ne doivent pas entrer en déséquilibre. En cas de travail statique (image du milieu), le muscle ne peut pas être suffisamment alimenté en nutriments. Cette sous-alimentation peut entraîner l'apparition de douleurs. A l'instar de la position détendue (image de gauche), il est aussi possible en activité dynamique (image de droite) de conserver l'équilibre pendant une certaine durée et jusqu'à un certain degré d'effort.

En cas de régénération insuffisante, un rapport déséquilibré entre le besoin en nutriments et l'évacuation de produits finaux du métabolisme entraîne des tensions ou des raideurs musculaires ou provoque par conséquent d'autres maladies de l'appareil locomoteur [32]. Dès que l'on dépasse un seuil de plus de 15 % de la force maximale, les contraintes statiques peuvent provoquer une fatigue musculaire [10, 35]. Cette valeur correspond donc à un seuil de puissance continue pour un travail statique [34] et dépend de chaque individu. Contrairement à un sportif, le temps de régénération dans la vie professionnelle ne repose pas sur l'état physique individuel mais est fonction des impératifs horaires de la production.

2.3.2.1 Postures contraintes

Les postures contraintes décrivent des «postures défavorables entraînant des contraintes statiques excessives exercées sur les muscles» (DIN 33400). On compte généralement parmi les postures contraintes les sollicitations unilatérales ou les activités à genoux, accroupi, couché, penché ou la tête en bas (Figure 4). Des changements fréquents sont d'autant plus importants pour ces activités. D'après l'avis de la Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents (SUVA), les postures contraintes peuvent aussi soumettre les nerfs, d'autres tissus que les muscles et des organes à une surcharge [36].

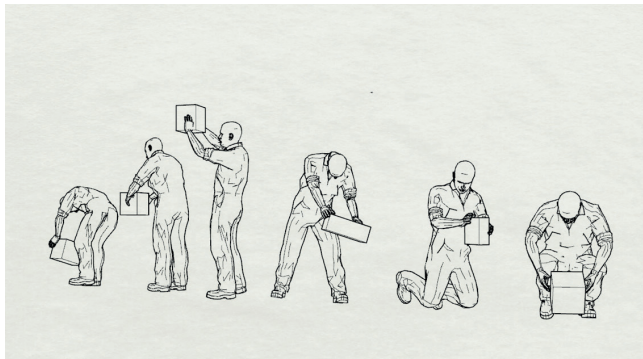


Figure 4 Les activités exécutées dans des postures contraintes sont particulièrement éprouvantes pour l'appareil locomoteur

Les postures contraintes constituent un problème fréquent. Lors d'une enquête représentative menée en 2006 auprès de 20 000 actifs en Allemagne, plus de 14 % d'entre eux ont indiqué devoir souvent travailler dans des postures contraintes [37].

→ Il convient d'éviter les postures contraintes dans la mesure du possible. En fonction de l'activité et de l'environnement spatial, il convient d'envisager tous les éléments du « principe TOP » afin de prévenir les postures contraintes ou d'atténuer leurs conséquences.

2.3.2.2 Causes de contrainte statique inaperçue

Une posture statique des épaules étant manifeste lors d'activités la tête en bas, on constate l'existence de nombreuses formes moins évidentes de ce travail de maintien musculaire dans le cadre d'activités quotidiennes. Cette explication permet de déduire l'apparition des tensions au niveau de la nuque lorsque les épaules restent légèrement relevées en permanence au fil de la journée sans qu'on le remarque. En cas de travail à des postes de travail debout trop bas ou réglés de manière défavorable, une légère inclinaison du buste vers l'avant entraîne aussi une subtile contrainte statique sur la musculature de la colonne vertébrale lombaire, ce qui peut provoquer l'apparition de troubles à long terme (cf. Figure 5 et chapitre 2.4.1 Prévention de la posture avec buste penché vers l'avant aux postes de travail debout).

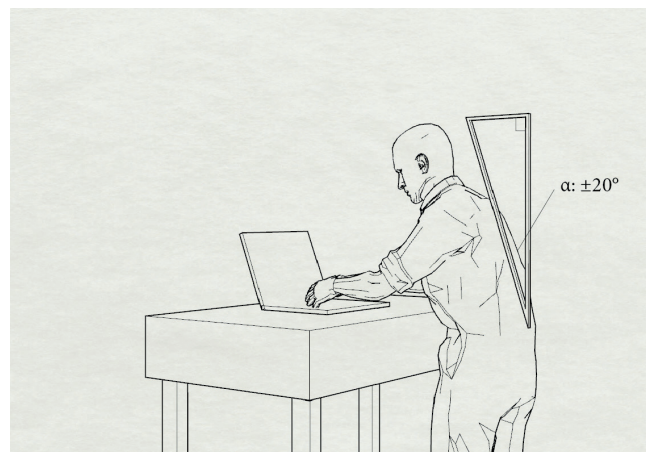


Figure 5 Contraction statique du bas du dos due à une légère inclinaison du buste vers l'avant.

La capacité de charge du cartilage dépend elle aussi d'une alternance permanente entre charge et décharge des articulations. Mais dans ce cas, un autre mécanisme est néanmoins à l'œuvre. Le cartilage articulaire est alimenté par le liquide se trouvant dans l'articulation (liquide synovial). Tel une éponge dans un bain d'eau, il est ici aussi nécessaire d'alterner entre charge et décharge afin de permettre une alimentation suffisante du cartilage par le liquide synovial riche en nutriments.

Aux postes de travail impliquant peu de mouvements et des postures debout prolongées, cet échange nutritif a lieu à intervalles moins fréquents alors qu'il serait en réalité nécessaire à un rythme plus rapide. Le cartilage peut alors être plus sollicité alors qu'il ne doit porter «que» le propre poids du corps.

- En vue de soulager la musculature, il convient d'interrompre les activités statiques par des mouvements dynamiques à des intervalles aussi fréquents que possible. On peut y procéder dans le cadre de l'organisation du travail ou en exécutant des exercices de mobilité actifs de manière consciente.
- Des postures statiques sont souvent adoptées sans être remarquées. Afin de réduire la contrainte, il convient de sensibiliser les collaborateurs et d'aménager les postes de travail en conséquence.
- Afin de lutter contre les phénomènes d'usure articulaire, les postes de travail doivent être aménagés de telle manière qu'il y soit possible d'alterner des phases régulières en position assise et/ou en marche avec des phases en position debout.

2.3.3 Conséquences de charges lourdes sur l'appareil locomoteur

La manipulation de charges lourdes dans la production a souvent lieu dans le cadre de tâches moins standardisées et éloignées de la chaîne de production. En raison de la variance élevée et du faible nombre de cycles de répétition des mêmes étapes de travail, une optimisation technique de certaines étapes de processus n'est pas possible ou pas rentable. Des outils adaptables ont donc été développés pour combler cette carence et peuvent être ajustés aux exigences correspondantes.

Les activités réalisées à ces postes de travail correspondant à celles d'une manufacture se caractérisent par les propriétés suivantes:

- Important changement d'étapes de manipulation et de traitement
- Et donc un changement fréquent des contraintes physiques
- La manipulation de charges lourdes ou dans une posture contrainte est parfois nécessaire en raison de l'absence d'optimisation des dispositifs de levage et de maintien à chaque étape de processus.

À l'exception de la plupart des secteurs de la production automobile et d'autres branches qui ont très tôt établi de stricts standards d'ergonomie, on peut encore trouver de nombreux postes de travail impliquant la manipulation de charges lourdes même à d'importantes fréquences. Il peut alors en résulter des troubles liés à la charge et affectant le dos ou les bras et les jambes.

La sollicitation de l'individu devant manipuler de lourdes charges dépend de l'état individuel d'entraînement et de la fréquence de survenue de cette contrainte. En cas d'importante sollicitation à des intervalles très irréguliers et éloignés, seul un effet d'entraînement de l'appareil locomoteur négligeable est constaté et la charge à manipuler est à chaque reprise considérée comme lourde.

La répétition de la contrainte à intervalles fréquents et brefs entraîne une hausse du risque de surcharge consécutive à un temps de régénération trop court. L'adaptation du niveau de performance peut être représentée au moyen du modèle théorique de supercompensation selon Jankolew [38] (Figure 6). Partant d'un niveau de performance donné, une phase de récupération suit un stimulus d'entraînement et cette phase de repos augmente ensuite le niveau de performance au-delà de la valeur de départ (appelée « supercompensation »). Le niveau de performance augmente ou diminue encore par rapport à la valeur de départ en fonction du moment du prochain stimulus d'entraînement. En l'absence de nouveau stimulus d'entraînement dans le cadre du cycle de supercompensation, le niveau de performance revient alors à la valeur de départ. La durée de la courbe dépend de l'intensité d'une contrainte et de l'individu. On peut supposer qu'env. 1 à 3 jours s'écoulent entre T0 et T3 pour la représentation dans notre exemple.

2 INFLUENCE DU RÉGLAGE EN HAUTEUR DE TABLES SUR L'APPAREIL LOCOMOTEUR

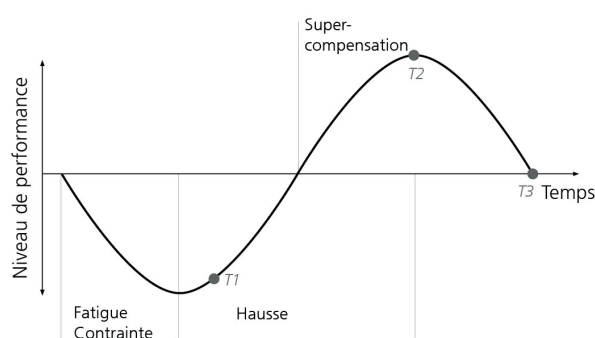


Figure 6 Principe de supercompensation.

- T0** Un stimulus de contrainte est généré et entraîne une fatigue perceptible.
- T1** Si la nouvelle contrainte se produit au cours de la phase de récupération, le niveau de performance original n'est pas encore de nouveau atteint → La charge est donc encore ressentie comme plus lourde.
- T2** Moment optimal pour un nouveau stimulus de contrainte. La force est plus importante que la valeur de départ de T0 → La charge est ressentie comme plus légère.
- T3** En cas de contrainte suite à la supercompensation, on ne constate aucune différence par rapport au niveau de départ T0 → L'effet d'entraînement est revenu à zéro et la charge ressentie est aussi lourde que la première fois.

- Réduction de la contrainte par l'utilisation d'éléments plus légers ou d'outils mécaniques de manipulation de charges.
- Mesures d'entraînement ciblées en cas de manipulation répétée de charges lourdes à intervalles irréguliers ou prolongés
- Mesures de régénération actives en cas de manipulation régulière et fréquente de charges lourdes dans le cadre de l'activité.
- Éducation et sensibilisation à l'égard d'un comportement ergonomique (prévention comportementale).

DIN 33411-1, édition 1982-09

«Forces physiques de l'homme - terminologie, contexte, grandeurs de détermination»

DIN 33411-4, édition 1987-05

«Forces physiques de l'être humain - forces actives statiques maximales (isodynes)»

DIN 33411-5, édition 1999-11

«Forces physiques de l'homme - Partie 5 : Forces d'action statiques maximales, valeurs»

ISO 11226, édition 2000 (E)

«Ergonomie - Évaluation des postures de travail statiques»

EN 1005-3, édition 2009-01

«Sécurité des machines - Performance physique humaine - Partie 3: limites des forces recommandées pour l'utilisation de machines; version française EN 1005:2002+A1:2008»

EN ISO 6385, édition 2004 [mise à jour: 10/2014]

«Principes ergonomiques de la conception des systèmes de travail»

EN ISO 26800, édition 2011-11

«Ergonomie - Approche générale, principes et concepts»

2.4 PRINCIPES DE RÉGLAGE ERGONOMIQUE DE LA TABLE DE TRAVAIL

Il est possible d'évaluer la posture lors de l'exercice de l'activité afin de déterminer si un poste de travail est ergonomique ou non. Comme décrit au chapitre 2.3, les critères de posture suivants sont considérés comme étant ergonomiques:

- Absence de posture contrainte (à genoux, penché, accroupi,...)
- Alternance régulière entre charge et décharge
- Alternance régulière des postures

2.4.1 Prévention de la posture avec buste penché vers l'avant aux postes de travail debout

L'assise droite est définie dans la confrontation du corps avec la pesanteur comme une position dans laquelle les segments du corps sont disposés de manière optimale contre la pesanteur et au-dessus les uns des autres. Le conduit auditif, l'acromion et la ligne médiane de la jambe vue de côté jusqu'à la cheville sont alignés les uns au-dessus des autres en suivant une ligne verticale imaginaire (cf. Figure 7). La position debout

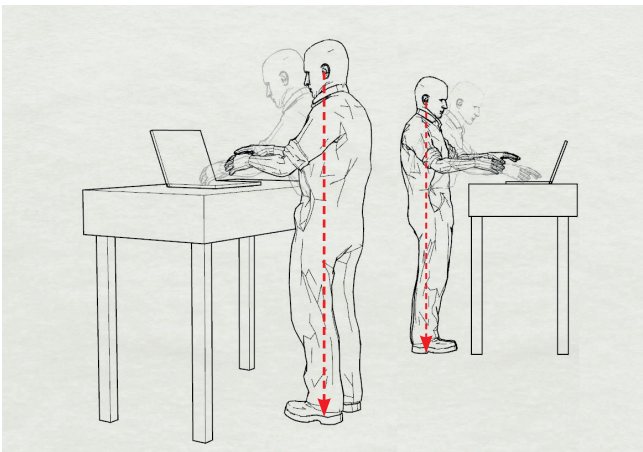


Figure 7 La posture debout se caractérise par une ligne verticale imaginaire entre le conduit auditif et la malléole externe.

se caractérise par une économie, une consommation d'énergie minimale et une certaine efficacité [39].

Le fait de pencher le haut du corps vers l'avant, par exemple en raison d'une table de travail réglée trop bas à un poste de travail debout, entraîne une contraction statique des extenseurs dorsaux. La contraction de la musculature provoque la constriction des vaisseaux apportant le sang (artères). Un poste de travail réglé trop bas peut donc provoquer sur une durée

prolongée des tensions, des contractures musculaires ou favoriser à la suite de ces dernières de graves maladies musculaires. Les maux de dos constituent l'un des troubles physiques les plus courants au sein de la population (D, CH) [3, 4].

- Il est recommandé de ne pas dépasser un angle maximal de 20° vers l'avant. Le facteur temps n'est malheureusement pas pris en compte la plupart du temps. En effet, la microcirculation dans la musculature est altérée dès la présence d'une faible contraction statique [40, 41].
- Il est recommandé de pratiquer des mouvements de compensation prenant la forme d'hyperextensions ciblées et brèves du dos (Figure 8), notamment pour maintenir la forme de tissus de soutien passifs comme les disques intervertébraux [17, 42].

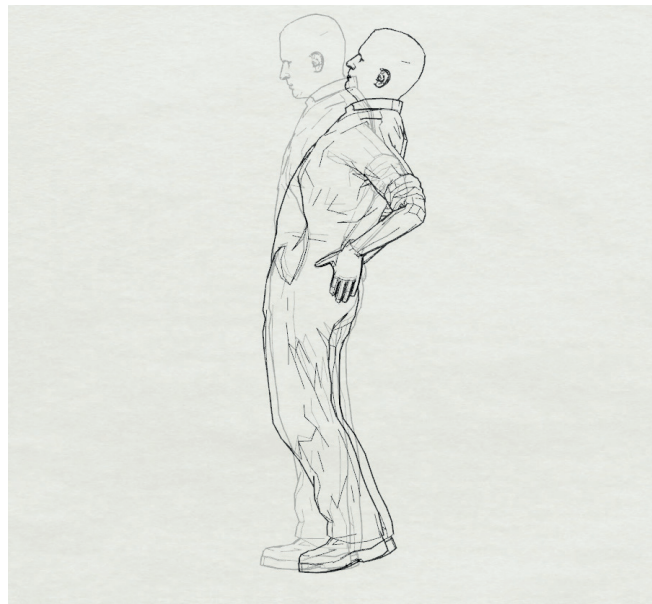


Figure 8 Exercice d'extension en position debout. Les mains sont appliquées sur le sacrum. Il convient de toujours veiller à ne provoquer aucune douleur d'hyperextension.

2.4.2 Nuque

Il convient de manière générale d'éviter une hyperextension de la nuque de manière prolongée car cette position entraîne un renforcement de la contrainte de compression exercée sur les articulations interapophysaires et les racines nerveuses qui en émanent [43]. De plus, plusieurs auteurs indiquent que les yeux peuvent sécher plus vite lorsque l'écran est trop haut. Cette sécheresse oculaire prématurée serait due au fait que le liquide lacrymal s'évapore plus vite étant donné que les paupières sont plus largement ouvertes lorsque l'on regarde vers le haut [44].

Une courbure excessive de la nuque peut à son tour provoquer des céphalées de tension [45].

La norme ISO 22116 (Ergonomie - Évaluation des postures de travail statiques) recommande un intervalle de 0 à 25° en cas de postures prolongées [41].

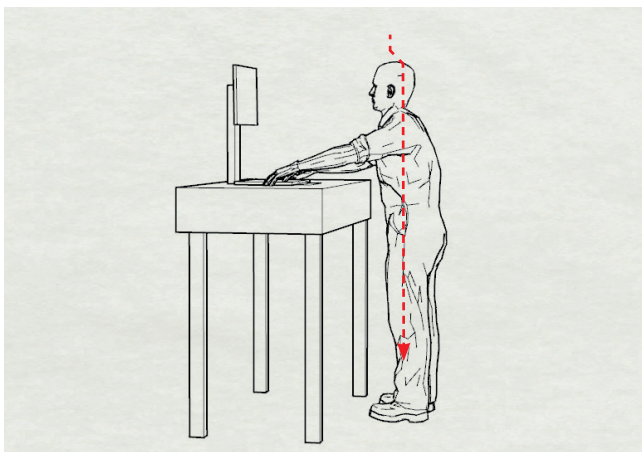


Figure 9 Le positionnement de l'écran exerce une influence sur la sollicitation de la nuque. À ce poste de travail, l'écran est trop haut. Les articulations interapophysaires et les nerfs peuvent ainsi être endommagés. De plus, les épaules doivent être trop relevées.

- Il convient de régler le poste de travail de manière à ce que ni une surextension prolongée ni une surextension trop fréquente de la nuque ni encore une courbure de plus de 25° ne soit nécessaire à l'exécution de l'activité.
- Les écrans ne doivent donc pas être réglés à une hauteur excessive, indépendamment du fait qu'il s'agisse d'un poste de travail assis ou debout. Le bord supérieur de l'écran doit se trouver à environ 5 cm sous la hauteur de l'œil.

2.4.3 Positionnement du poignet et mouvements

Les maladies comme les tendinites et les irritations de la jonction musculo-tendineuse comme l'épicondylite ou l'épitrôchélite peuvent survenir en raison d'une astreinte mécanique unilatérale et prolongée et des travaux inhabituels de tout type en cas d'ajustement inexistant ou perturbé [46]. Ces tableaux cliniques sont fréquents et longs. La durée moyenne d'absence pour cause de maladie s'élève ainsi à 29 jours pour l'épicondylite et affecte jusqu'à 30 % de l'ensemble des employés de montage [27].

La musculature peut réagir de manière optimale aux contraintes lorsqu'elle se trouve dans une position d'extension intermédiaire. Les stimuli externes ou les impulsions mineures qui peuvent par exemple être générés lors de la fixation de liaisons par emboîtement sont moins contraignants lorsque le poignet se trouve en position neutre.

C'est notamment en cas de stimuli ou d'efforts se répétant fréquemment que la position du poignet occupe un rôle décisif dans le développement de LATR [25, 47] (cf. aussi 2.3.1 Conséquences de répétitions fréquentes sur l'appareil locomoteur). Il convient de veiller à respecter une position de départ du poignet la plus neutre possible, notamment lors d'activités impliquant d'importants efforts physiques et/ou exercées à des fréquences élevées.



Figure 10 Il convient d'éviter les positionnements extrêmes du poignet. La main gauche doit en particulier être fortement tendue vers l'arrière (extension dorsale).

La procédure d'évaluation ergonomique EAWS (Ergonomic Assessment Worksheet) indique des seuils pour chaque position d'articulation à partir desquels ces positions ont un effet négatif dans l'évaluation du poste de travail. Ils sont fixés à 45° pour la flexion et l'extension du poignet et à 15° pour l'inclinaison latérale vers le radius resp. à 20° vers l'ulna [48].

- Les positions des poignets doivent correspondre à la position neutre au cours de la contrainte et au-delà de l'activité. Cette position neutre correspond à peu de choses près à la position de la main sur une souris d'ordinateur.
- La hauteur de la table joue ici un rôle décisif et doit être réglée en conséquence. Si la table est trop basse, le poignet doit alors être étendu vers l'arrière dans le cadre de nombreuses activités (extension dorsale).
- Si possible, toujours tourner l'élément et ne pas essayer de l'entourer des deux mains afin de prévenir tout positionnement extrême des articulations.

3 AMÉNAGEMENT DES POSTES DE TRAVAIL DEBOUT

Les meubles de bureau à réglage ergonomique et leur utilisation correcte exigent entre autres certaines connaissances de la part des utilisateurs [49]. Différentes normes portent sur l'aménagement du poste de travail. Mais les informations doivent dans un premier temps être compilées pour leur application directe.

Des compilations de mensurations sont disponibles et servent de base aux indications sur l'aménagement du poste de travail (comme la norme DIN 33402). On se repose alors généralement sur trois mensurations pour les hommes et les femmes qui se limitent au 5ème percentile (seules 5 % des personnes sont plus petites), 50ème percentile et 95ème percentile (seules 5 % des personnes sont plus grandes). Les valeurs s'étendent donc de 154 cm (5ème percentile de la femme) à 186 cm (95ème percentile de l'homme). Des mesures individuelles ne sont donc pas publiées. Toutes les longueurs affichant une très forte corrélation entre elles [50], une extrapolation de ces valeurs semble légitime.

Deux méthodes de déduction d'une hauteur de table ergonomique sont décrites ci-après.

3.1 DÉDUCTION DE LA HAUTEUR DE TABLE SELON DES CRITÈRES DE POSTURE

Tenant compte des facteurs exerçant une influence sur l'appareil locomoteur décrits au chapitre 2, il convient de veiller à la satisfaction des critères de posture suivants:

- Posture droite (inclinaison du buste vers l'avant de moins de 20°).
- Les bras doivent si possible pendre à la verticale.
- Il convient si possible de ne pas contracter la musculature de la nuque (de manière persistante).
- Légère activité de la musculature abdominale (ne pas se cambrer).
- Les poignets doivent principalement pouvoir travailler en position intermédiaire, notamment lorsque des efforts supérieurs sont nécessaires.

ieurs sont nécessaires.

- Les genoux ne sont pas entièrement étendus (légère contraction sensible au niveau de la musculature supérieure de la cuisse).

3.2 DÉDUCTION DE LA HAUTEUR DE TABLE SELON LES SPÉCIFICATIONS EN VIGUEUR

Le Tableau 1 ci-dessous permet une évaluation rapide relative à la hauteur de table recommandée en fonction de la taille et de la classification de l'activité en trois catégories : fine, légère ou lourde. Les activités fines correspondent à des tâches exécutées à courtes distances visuelles et n'exigent qu'une faible force. Les activités lourdes désignent les tâches nécessitant un important effort physique.

La hauteur de travail est en définitive décisive, pas la hauteur de la plaque de la table. Cette hauteur de travail dépend à son tour des pièces à traiter. Si elles sont particulièrement hautes, il convient alors de corriger la hauteur de la table vers le bas. Le Tableau 1 ne peut donc offrir qu'une valeur indicative et les caractéristiques indiquées au point 3.1 Déduction de la hauteur de table selon des critères de posture doivent faire régulièrement l'objet d'un contrôle.

Les valeurs sont obtenues comme suit : d'après les normes DIN 33406 et ÖNORM A8061, un réglage ergonomique de la hauteur de table repose sur la hauteur du coude et le type d'activité (fine : hauteur des coudes +50 à +100 mm ; légère : -100 à -150 mm ; lourde : -150 à -400 mm). Les valeurs appliquées à la hauteur des coudes ont été extrapolées par les auteurs à partir de données anthropométriques de la norme DIN 33402 afin de pouvoir déterminer des indications détaillées pour chaque taille allant de 1,45 m à 2,10 m. La valeur indiquée correspond alors à la moyenne du réglage recommandée à laquelle s'ajoute 2 cm de correction de la taille en raison du port de chaussures de travail.

Tableau 1 Le réglage recommandé de la hauteur de table en fonction de la taille et du type d'activité.

Taille	Activité	Activité	Activité	Taille	Activité	Activité	Activité
	Fine	Légère	Lourde		Fine	Légère	Lourde
	(+/- 2,5 cm)	(+/- 2,5 cm)	(+/- 12,5 cm)		(+/- 2,5 cm)	(+/- 2,5 cm)	(+/- 12,5 cm)
2,10	1,44	1,24	1,09	1,77	1,21	1,01	0,86
2,09	1,43	1,23	1,08	1,76	1,20	1,00	0,85
2,08	1,42	1,22	1,07	1,75	1,20	1,00	0,85
2,07	1,42	1,22	1,07	1,74	1,19	0,99	0,84
2,06	1,41	1,21	1,06	1,73	1,18	0,98	0,83
2,05	1,40	1,20	1,05	1,72	1,17	0,97	0,82
2,04	1,39	1,19	1,04	1,71	1,17	0,97	0,82
2,03	1,39	1,19	1,04	1,70	1,16	0,96	0,81
2,02	1,38	1,18	1,03	1,69	1,15	0,95	0,80
2,01	1,37	1,17	1,02	1,68	1,15	0,95	0,80
2,00	1,37	1,17	1,02	1,67	1,14	0,94	0,79
1,99	1,36	1,16	1,01	1,66	1,13	0,93	0,78
1,98	1,35	1,15	1,00	1,65	1,13	0,93	0,78
1,97	1,35	1,15	1,00	1,64	1,12	0,92	0,77
1,96	1,34	1,14	0,99	1,63	1,11	0,91	0,76
1,95	1,33	1,13	0,98	1,62	1,11	0,91	0,76
1,94	1,33	1,13	0,98	1,61	1,10	0,90	0,75
1,93	1,32	1,12	0,97	1,60	1,09	0,89	0,74
1,92	1,31	1,11	0,96	1,59	1,08	0,88	0,73
1,91	1,31	1,11	0,96	1,58	1,08	0,88	0,73
1,90	1,30	1,10	0,95	1,57	1,07	0,87	0,72
1,89	1,29	1,09	0,94	1,56	1,06	0,86	0,71
1,88	1,28	1,08	0,93	1,55	1,06	0,86	0,71
1,87	1,28	1,08	0,93	1,54	1,05	0,85	0,70
1,86	1,27	1,07	0,92	1,53	1,04	0,84	0,69
1,85	1,26	1,06	0,91	1,52	1,04	0,84	0,69
1,84	1,26	1,06	0,91	1,51	1,03	0,83	0,68
1,83	1,25	1,05	0,90	1,50	1,02	0,82	0,67
1,82	1,24	1,04	0,89	1,49	1,02	0,82	0,67
1,81	1,24	1,04	0,89	1,48	1,01	0,81	0,66
1,80	1,23	1,03	0,88	1,47	1,00	0,80	0,65
1,79	1,22	1,02	0,87	1,46	0,99	0,79	0,64
1,78	1,22	1,02	0,87	1,45	0,99	0,79	0,64

4 POSITION

4.1 HAUTEUR DE TABLE ET DE CHAISE DE POSTES DE TRAVAIL ASSIS

Les grandeurs de réglage sont de manière générale décrites de manière uniforme en ce qui concerne le réglage de postes de travail assis. Il convient néanmoins de respecter un autre ordre si la table peut aussi être réglée en hauteur ou si ce réglage est seulement permis par la chaise.

4.1.1 Poste de travail assis où la hauteur de chaise et de table peut être réglée

1. Régler la hauteur de la chaise à la hauteur de l'articulation du genou

La littérature spécialisée recommande de manière univoque que l'articulation du genou dessine un angle de $\geq 90^\circ$ afin d'obtenir une hauteur d'assise optimale. La hauteur de la chaise peut ainsi être déduite en fonction de la hauteur de l'interstice articulaire du genou. En position debout, la hauteur du coussin d'assise peut alors être réglée à la hauteur de la patella (Figure 11).

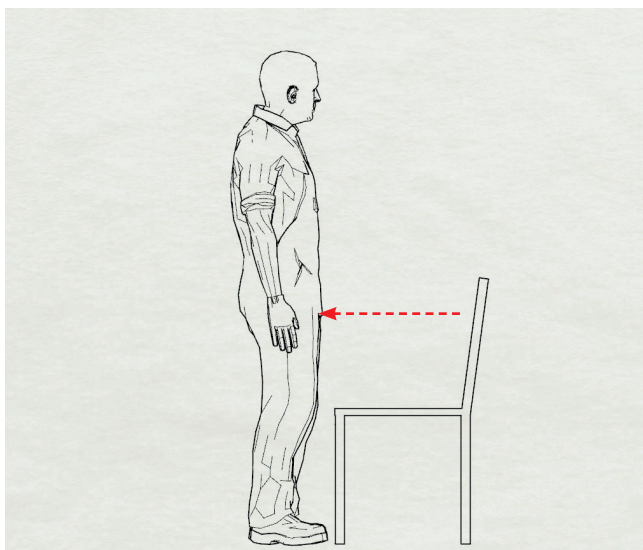


Figure 11 Réglage de la hauteur de chaise. Le coussin d'assise doit se trouver à la hauteur de la patella en position debout.

2. Hauteur de table à la hauteur du coude

Il est de manière générale recommandée d'appliquer aussi la «règle du coude» en position assise: laisser pendre les bras de manière relâchée et plier les avant-bras en dessinant un angle de 90° . Le bord inférieur du coude et la table doivent être mis au même niveau.

4.1.2 Poste de travail assis où seule la chaise est réglable, mais pas la table

1. Régler la hauteur de la chaise de telle manière que les coudes soient au même niveau que la surface de la table

La hauteur des coudes correspond à la mesure recommandée pour la hauteur de la table. Si la table n'est pas réglable en hauteur, il convient alors de régler la chaise à une hauteur correspondante.

2. Vérifier l'angle des jambes et le contact au sol des pieds

Un repose-pieds est recommandé si les pieds ne présentent plus un contact suffisant avec le sol [44, 51].

4.2 POSTURE ASSISE

4.2.1 Contradictions portant sur la recommandation d'UNE posture assise optimale

Les recommandations ne sont pas claires quant au réglage du dossier. L'assise droite est indiquée à titre de modèle d'assise correcte dans la plupart des guides et des normes et est recommandée pour le réglage du meuble de travail. Au-delà du fait que cette posture assise modèle ne peut pas être maintenue tout au long du temps de travail, les spécialistes continuent de discuter de ce qu'il convient d'appeler une posture assise « optimale » [52, 53, 54]. Une posture fortement effondrée est souvent considérée comme la cause de maux de dos [55]. Il existe également des preuves indiquant qu'une position particulièrement droite impliquant une inclinaison du buste vers l'avant augmente la contrainte exercée sur les disques intervertébraux [49, 56, 57], ce qui peut aussi contribuer à l'apparition de maux de dos [54].

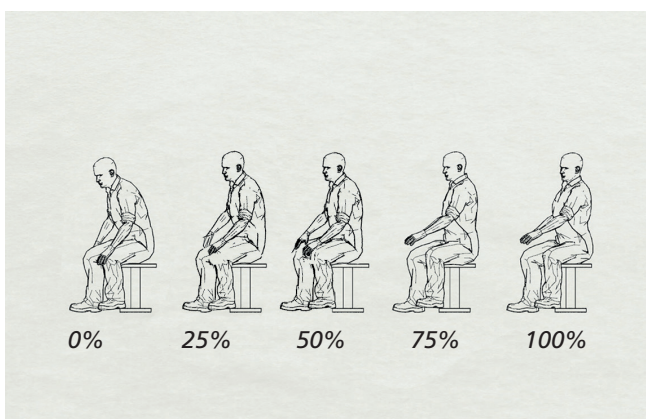


Figure 12 La posture de la colonne vertébrale d'une position fortement affaissée à une position redressée au maximum. Un redressement d'environ 75 % est recommandée [61].

Il est de plus en plus largement admis qu'un comportement d'assise sain est décisif en plus du réglage correct de la hauteur d'assise [52].

Une position assise prolongée est considérée comme un facteur de risque de maux de dos. Le manque d'activité physique entraîne des conséquences défavorables pour les tissus à long terme [14, 22, 58, 59, 60]:

- Une sous-alimentation du cartilage et des ligaments en nutriments entraînant une diminution de la capacité de charge
- Dégénérescence des disques intervertébraux
- Une «raideur» toujours plus importante des articulations

4.2.2 Déduction de la posture d'assise selon des critères de position

Dans le cadre d'une enquête menée auprès de physiothérapeutes, il a de manière générale été considéré comme avantageux d'adopter une position assise [54, 61]:

- correspondant de 70 à 75 % du redressement maximal de la colonne vertébrale
- correspondant à la posture naturelle de la colonne vertébrale
- étant confortable et détendue

- n'exigeant pas une contraction importante de la musculature.

4.3 COMPORTEMENT D'ASSISE

De manière totalement indépendante de la posture considérée comme optimale, il n'est pas conseillé de la conserver sans mouvement pendant une durée prolongée [58]. Les mouvements sont nécessaires à la préservation de la bonne forme et de la robustesse des cellules. Cela s'applique non seulement au dos mais aussi aux jambes. On parle souvent d'une «assise droite et dynamique» qui fait l'objet de cours à l'école du dos en entreprise [49]. La posture de la colonne vertébrale peut être largement influencée par le positionnement du bassin.

On peut en déduire les recommandations suivantes de manière générale:

- Une posture généralement positive correspond à environ 70 à 75 % du redressement maximal.
- Il convient néanmoins de ne pas adopter une certaine position de manière persistante mais aussi de ne pas rester immobile en «position optimale».
- Alternier si possible position assise et debout au poste de travail.

5 ESPACES DE PRÉHENSION ET CLASSIFICATION DES OUTILS DE TRAVAIL

Les espaces de préhension sont des espaces définis autour de l'individu dans lesquels des objets peuvent être déplacés de la main, saisis ou dont la position peut être modifiée sans changement significatif de la posture [62]. Une fois définis, ils peuvent s'avérer utiles pour l'aménagement et l'ordonnement de postes de travail. Les activités manuelles impliquant un strict contrôle visuel doivent si possible avoir lieu près du corps car l'éloignement progressif complique la précision des mouvements. Il est de plus évident qu'il convient de ne pas manipuler de charges lourdes loin du centre du corps en raison de l'effet levier.

La littérature définit trois (par ex. [10]) ou quatre zones (par ex. [34]) pour les espaces de préhension. La différence réside dans la première zone qui ne figure pas dans certaines recommandations [29]:

Zone 1: centre de travail / lieu de montage

Les deux mains travaillent côte à côte et se trouvent au centre du champ visuel

Zone 2: centre de travail étendu

Les deux mains atteignent tous les points de cette zone

Zone 3: zone à une main

Zone destinée au positionnement d'objets pouvant être saisis/manipulés d'une main

Zone 4: zone à une main étendue

Zone la plus éloignée encore utilisable, notamment pour la mise à disposition de petits éléments dans des récipients à saisir. En cas de répétitions fréquentes ou de charge lourde, la contrainte exerce après peu de temps un effet défavorable sur le système musculo-squelettique.

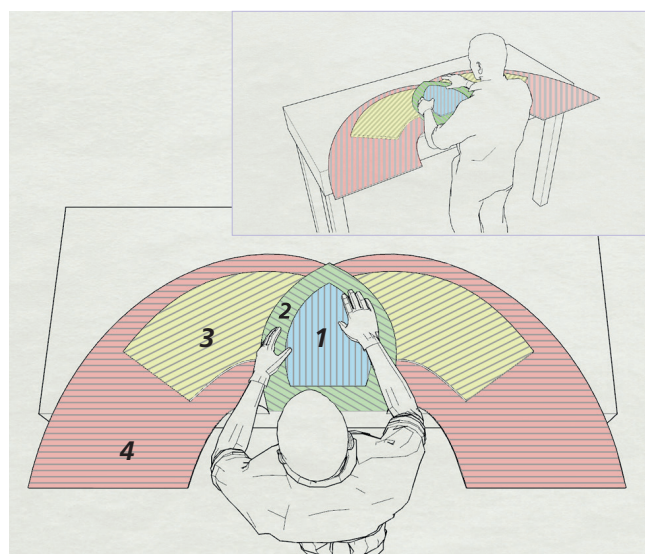


Figure 13 Reproduction des espaces de préhension au poste de travail

- Il convient d'éviter les activités manuelles dans les zones externes car elles exigent un travail de maintien statique de la musculature du dos et des bras et s'avèrent défavorable en termes d'effet levier. Ces espaces conviennent à la mise à disposition d'éléments légers.
- En cas d'utilisation du poste de travail par plusieurs travailleurs, il doit être aménagé en fonction de la plus petite personne car l'espace de préhension d'une personne plus grande dépasse l'espace de préhension de la personne plus petite.
- Il peut par exemple être raccourci par des limites de mouvement et doit donc faire l'objet d'une vérification individuelle.

Le **supplément 1 de la norme allemande DIN 33402-2 : 2006-08** fournit des recommandations complémentaires sur l'aménagement du poste de travail. La norme **DIN SPEC 33402-6** fournit quant à elles des indications sur l'application de données anthropométriques.

6 ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL

Outre la luminosité requise à l'exercice des activités professionnelles, la lumière joue aussi un rôle pour le bien-être car elle commande notre « horloge interne ». Au cours de l'évolution, un rythme jour-nuit s'est développé. La lumière perçue et donc aussi la luminosité au poste de travail peuvent avoir une influence sur divers processus physiologiques. Outre la fréquence cardiaque et la thermorégulation, il est aussi possible de constater des changements affectant les ondes cérébrales associées à la concentration et à l'attention [63, 64]. C'est la lumière bleue qui est responsable de ces phénomènes car elle est traitée par le système nerveux différemment des autres longueurs d'onde [65].

Les facteurs déterminants de la lumière sont les suivants [66,67]:

- Intensité, hauteur et couleur d'éclairage
- Flux lumineux, intensité lumineuse, luminance, degré de réflexion, contraste, rendement lumineux éblouissement/ réflexion, scintillement/pulsation de la source de lumière, ombre

Les normes stipulent des valeurs minimales relatives à l'intensité d'éclairage en deçà desquelles il convient de ne pas descendre mais qui peuvent être ajustées à la hausse en fonction de la situation.

Type d'espace ou d'activité (exemples)	Intensité minimale d'éclairage en lux (lx)	
	DIN EN 12464-1:2003-03	ASR A3.4
Selon:		
Surfaces de circulation et couloirs	100	50-150
Espaces de pause		200
Espaces de stockage		50-300
		s.o.
Travaux de montage intermédiaires	300	300
Travaux mécaniques grossiers/moyens (tolérance > 0,1 mm)		
Installations de production nécessitant des interventions manuelles permanentes		
Fabrication d'outils, de gabarits et de dispositifs	1000	
Mécanique de précision et micromécanique		500 – 1500 (par ex. horlogerie)
Bureaux et espaces de travail semblables à des bureaux	500	500
Écriture, lecture, traitement de données		
Dessin technique (dessin à la main)	750	750

Tableau 2 Intensités d'éclairage requises (conformément à la norme EN 2464 - 1:2003-03 ; section 5.3 et directive relative à la protection au travail ASR A3.4 Annexe 1)

Il convient aussi de tenir compte du fait qu'avec l'âge, l'acuité visuelle générale diminue et la sensibilité à l'éblouissement augmente [66].

- La lumière exerce une influence biologique inconsciente sur les individus et donc sur la capacité de concentration et le bien-être. Il convient de bien tenir compte des éventuels effets négatifs causés par un éclairage défavorable lors de l'analyse du poste de travail.
- Outre le type de l'activité, l'âge joue aussi un important rôle dans le cadre de la sélection et du réglage de l'éclairage.
- Il est recommandé de procéder à un éclairage de surface partielle supplémentaire pour l'exercice de tâches visuelles particulières ou en fonction des capacités visuelles de l'employé [67].
- Il est important de veiller à un éclairage homogène de la surface de travail et à ne pas générer d'éblouissements par une luminosité ponctuellement excessive. Il est notamment possible de prévenir ces troubles par le positionnement de luminaires à une hauteur suffisante au-dessus du poste de travail [66].
- En cas de présence de plusieurs personnes au poste de travail, l'intensité d'éclairage doit être choisie en fonction de la personne dont les yeux affichent la plus faible sensibilité à la lumière, c'est-à-dire la personne qui a besoin de la plus importante intensité d'éclairage afin de pouvoir exécuter ses tâches dans de bonnes conditions [10].

DIN SPEC 67600, édition 2013-04

«Éclairage à effet biologique – Conseils de conception»

DIN SPEC 5031-100, édition 2009-1

«Physique de radiation optique et technique d'éclairage - Partie 100: Effet mélanopique de la lumière oculaire sur la personne - Grandeurs, symboles et spectre d'activité»

DIN 5035-8, édition 2007-07

«Éclairage par lumière artificielle - Partie 8: Luminaires pour des lieux de travail - Exigences, recommandations et essai»

DIN EN 12464-1, édition 2001-08

«Lumière et éclairage - Éclairage des lieux de travail - Partie 1: lieux de travail intérieurs ; version française EN 12464-1:2011»

ASR A3.4 (ne s'applique pas en Suisse), édition 2011-04

«Éclairage»

DIN EN 12665, édition 2001-09

«Lumière et éclairage - Termes de base et critères pour la spécification des exigences en éclairage»

7 BIBLIOGRAPHIE

- [1] Strom, A. (Hrsg.). (2017). Anteile der zehn wichtigsten Krankheitsarten an den Arbeitsunfähigkeitstagen in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2015: Analyse der Arbeitsunfähigkeitsdaten. [p. 19].
- [2] European Agency for Safety and Health at Work. (2017). Estimating the cost of work-related accidents and ill-health: An analysis of European data sources. Luxembourg: Publications Office of the European Union. [p. 12].
- [3] Bundesamt für Statistik BFS. (2013). Schweizerische Gesundheitsbefragung 2012: Übersicht. Neuchâtel: Schweizerisches Gesundheitsobservatorium. [p. 14].
- [4] Liebers, F. & Caffier, G. (2009). Berufsspezifische Arbeitsunfähigkeit durch Muskel-Skelett-Erkrankungen in Deutschland: Forschung Projekt F 1996. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. [p. 108, 110].
- [5] Petrini, L. & Camenzind, P. (2015). Gesundheit im Kanton Graubünden: Ergebnisse aus der Schweizerischen Gesundheitsbefragung 2012 und weiterer Datenbanken (Obsan Bericht 64). Neuchâtel: Schweizerisches Gesundheitsobservatorium. [p. 99].
- [6] European Commission, Directorate-General for Employment, Social Affairs and Inclusion (2011). Socio-economic costs of accidents at work and work-related ill health. Luxembourg.
- [7] European Agency for Safety and Health at Work. (2010). OSH in figures: Work-related musculoskeletal disorders in the EU - Facts and figures. Luxembourg: Publications Office of the European Union. [p. 3].
- [8] Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2014). Arbeitsunfälle und arbeitsbedingte Gesundheitsprobleme: Ergebnisse einer Zusatzerhebung im Rahmen des Mikrozensus 2013. Auszug aus Wirtschaft und Statistik September 2014, 561–574. [p. 562].
- [9] European Agency for Safety and Health at Work. (2012). Förderung des aktiven Alterns am Arbeitsplatz. [p. 1].
- [10] Merkel, T. & Schmauder, M. (2012). Ergonomisch und normgerecht konstruieren. Berlin, Wien, Zürich: Beuth. [p. 44, 84, 142-143].
- [11] Lehmann, G. (1953). Praktische Arbeitsphysiologie. Stuttgart: Thieme.
- [12] Prohl, R. & Röthig, P. (2003). Sportwissenschaftliches Lexikon (7. Aufl.). Schorndorf: Hofmann. [p. 72].
- [13] Olivier, N., Büsch, D. & Marschall, F. (2008). Grundlagen der Trainingswissenschaft und -lehre. Schorndorf: Hofmann. [p. 24].
- [14] Weineck, J. (2004). Optimales Training: Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings (15. Aufl.). Balingen: Spitta. [p. 51, 962, 1041].
- [15] van den Berg, F. & Arendt-Nielsen, L. (2010). Angewandte Physiologie (3. Aufl.). Stuttgart: Thieme. [p. 151].
- [16] Güllich, A. & Krüger, M. (Hrsg.) (2013). Sport: Das Lehrbuch für das Sportstudium. Berlin, Heidelberg: Springer. [p. 446, 193].
- [17] Dölken, M. & Hüter-Becker, A. (2015). Physiotherapie in der Orthopädie (3. Aufl.). Stuttgart, New

- York: Thieme. [p. 64, 464].
- [18] Hüter-Becker, A. & Betz, U. (2006). *Das neue Denkmodell in der Physiotherapie – Band 1: Bewegungssystem* (3. Aufl.). Stuttgart, New York: Thieme. [p. 421].
- [19] Sakakibara, H., Miyao, M., Kondo, T. & Yamada, S. (1995). Overhead work and shoulder-neck pain in orchard farmers harvesting pears and apples. *Ergonomics*, 38(4), 700–706.
- [20] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). (2016). DGUV Information 208-033, 1–44. [p. 14-17, 24, 25].
- [21] Sood, D., Nussbaum, M. A., Hager, K. & Nogueira, H. C. (2017). Predicted endurance times during overhead work: Influences of duty cycle and tool mass estimated using perceived discomfort. *Ergonomics*, 60(10), 1–10.
- [22] van den Berg, F. (1999). *Angewandte Physiologie*. Stuttgart: Thieme. [p. 283, 126].
- [23] Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA). Merkblatt 021 Ergonomie. Wien. [p. 2].
- [24] Daub, U. (2016). *Der assistierte Mensch in der Produktion: Von der Orthese zum Exoskelett*. Vortrag auf 5. Fachkonferenz: Ergonomie in der Produktion Mainz. München: Süddeutscher Verlag Veranstaltungen GmbH.
- [25] Walker-Bone, K., Palmer, K. T., Reading, I. C., Coggon, D. & Cooper, C. (2012). Occupation and epicondylitis: A population-based study. *Rheumatology*, 51(2), 305–310. [p. 4].
- [26] Kaufmännische Krankenkasse (Hrsg.). (2008). *Beweglich?: Muskel-Skelett-Erkrankungen-Ursachen, Risikofaktoren und präventive Ansätze*. Berlin, Heidelberg: Springer. [p. 126 f.].
- [27] Barmer Gmünder Ersatzkasse (GEK). (2012). *Heil- und Hilfsmittelreport 2012*. Siegburg: Asgard Verlagsservice GmbH.
- [28] Hennies, G. (1998). *Basiswissen medizinische Begutachtung: Rechtliche und inhaltliche Grundlagen des ärztlichen Fachgutachtens*. Stuttgart: Thieme. [p. 36].
- [29] Becker, M., Hettinger, T. & Wobbe, G. (1993). *Kompodium der Arbeitswissenschaft: Optimierungsmöglichkeiten zur Arbeitsgestaltung und Arbeitsorganisation*. Ludwigshafen (Rhein): Kiehl. [p. 111, 161].
- [30] Reneman, R. S., Slaaf, D. W., Lindbom, L., Tangelder, G. J. & Arfors, K.-E. (1980). Muscle blood flow disturbances produced by simultaneously elevated venous and total muscle tissue pressure. *Microvascular Research*, 20(3), 307–318. [p. 315].
- [31] Hagberg, M. (1984). Occupational musculoskeletal stress and disorders of the neck and shoulder: A review of possible pathophysiology. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 53(3), 269–278. [p. 271].
- [32] Visser, B. & van Dieën, J. H. (2006). Pathophysiology of upper extremity muscle disorders. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 16(1), 1–16.
- [33] Schwegler, J. S. & Lucius, R. (2016). *Der Mensch: Anatomie und Physiologie* (6. Aufl.). Stuttgart, New York: Thieme. [p. 310].
- [34] Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM). (2013). BGHM-Information 101: Mensch und Arbeitsplatz in der Holz- und Metallindustrie. [p. 23 f.].
- [35] Rohmert, W. (1960). Ermittlung von Erholungspausen für statische Arbeit des Menschen. Inter-

- ationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschließlich Arbeitsphysiologie, 18(2), 123–164. [p. 131].
- [36] Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA). (2010). Präzisionsarbeit in der Uhrenindustrie. [p. 7].
- [37] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). (2010). Grundausswertung der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2005/2006. [p. 25].
- [38] Jankolew, N. (1976). Erweiterung der Regulationsbereiche des Stoffwechsels bei Anpassung an verstärkte Muskeltätigkeit. *Medizin und Sport*, 16, 66–70.
- [39] Klein-Vogelbach, S. (2000). Funktionelle Bewegungslehre: Bewegung lehren und lernen (5. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer.
- [40] Bertmaring, I., Babski-Reeves, K., & Nussbaum, M. A. (2008). Infrared imaging of the anterior deltoid during overhead static exertions. *Ergonomics*, 51(10), 1606–1619. [p. 1607].
- [41] Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). (2000). ISO 11226 - Ergonomics - Evaluation of static work postures. [p. 4, 7].
- [42] McKenzie, R., Rose-Zeuner, J. & Höpner, I. (2006). *Behandle deinen Rücken selbst*. Raumatı Beach New Zealand: Spinal Publications.
- [43] Farmer, J. C. & Wisneski, R. J. (1994). Cervical spine nerve root compression. An analysis of neuroforaminal pressures with varying head and arm positions. *Spine*, 19(16), 1850–1855.
- [44] Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA). (2017). Bildschirmarbeit. [p. 12 f., 15].
- [45] Nagasawa, A., Sakakibara, T. & Takahashi, A. (1993). Roentgenographic findings of the cervical spine in tension-type headache. *Headache*, 33(2), 90–95.
- [46] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). (2007). Merkblatt zur BK Nr. 2101. [p. 1].
- [47] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (ed.). (1997). *Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors*. [4-1].
- [48] Institut für Arbeitswissenschaft TU Darmstadt (IAD) (Hrsg.). (2012). *Ergonomic Assessment Worksheet V1.3.3*.
- [49] Landau, K. (2009). *Medizinisches Lexikon der beruflichen Belastungen und Gefährdungen: Definitionen, Vorkommen, Arbeitsschutz* (2. Aufl.) Stuttgart: Gentner. [p. 861, 947, 949].
- [50] Greil, H. (2001). Körpermaße 2000: aktuelle Perzentilwerte der deutschen Bevölkerung im jungen Erwachsenenalter. *Brandenburgische Umweltberichte*, 10, 23–53. [p. 37].
- [51] Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM). (2013). *Arbeiten an Bildschirmgeräten: BGI 742*. BG-Information. [p. 25].
- [52] Pynt, J., Higgs, J. & Mackey, M. (2009). Seeking the optimal posture of the seated lumbar spine. *Physiotherapy Theory and Practice*, 17(1), 5–21. [p. 6].
- [53] Claus, A. P., Hides, J. A., Moseley, G. L. & Hodges, P. W. (2009). Is ‚ideal‘ sitting posture real? Measurement of spinal curves in four sitting postures. *Manual therapy*, 14(4) 404–408. [p. 404].
- [54] O’Sullivan, K. & Dankaerts, W. (2012). What do physiotherapists consider to be the best sitting spinal posture? *Manual therapy*, 17(5), 432–437. [p. 432, 435].

- [55] Womersley, L. & May, S. (2006). Sitting posture of subjects with postural backache. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*, 29(3), 213–218.
- [56] Kapandji, I. A. (2009). *Funktionelle Anatomie der Gelenke: Schematisierte und kommentierte Zeichnungen zur menschlichen Biomechanik ; einbändige Ausgabe - obere Extremität, untere Extremität, Rumpf und Wirbelsäule (5. Aufl.)*. Stuttgart, New York: Thieme. [p. 98].
- [57] Wilke, H.-J., Neef, P., Caimi, M., Hoogland, T. & Claes, L. E. (1999). New In Vivo Measurements of Pressures in the Intervertebral Disc in Daily Life. *Spine*, 24(8), 755–762. [p. 758].
- [58] Fischer, P. (2004). Zusammengesunken oder aufrecht sitzen?: - Was ist gesünder und wie lässt sich eine gesündere Haltung trainieren? *Manuelle Therapie*, 8(4), 147–152. [p. 147, 149].
- [59] Twomey, L. T. & Taylor, J. R. (2000). *Physical therapy of the low back (3. Aufl.)*. New York: Churchill Livingstone.
- [60] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (Hrsg.). (2006). Merkblatt zu der Berufskrankheit Nr. 2018 der Anlage der Berufskrankheiten-Verordnung (BKV). [p. 3].
- [61] Fischer, P. (2012). *Tests und Übungen für die Wirbelsäule*. Stuttgart: Thieme. [p. 47].
- [62] Schmidtke, J.-F. (2013). *Ergonomie: Daten zur Systemgestaltung und Begriffsbestimmungen*. München: Hanser. [p. 697].
- [63] Pross, A., Stefani, O., Bossenmaier, S. & Bues, M. (2015) *LightWork: Benutzerakzeptanz und Energieeffizienz von LED-Beleuchtung am Wissensarbeitsplatz*. [p. 6].
- [64] Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). (2015). *DIN SPEC 5031-100: 2015-08 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik – Teil 100: Über das Auge vermittelte, melanopische Wirkung des Lichts auf den Menschen – Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren*. [p. 13 f.].
- [65] Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). (2013). *DIN SPEC 67600:2013-04: Biologisch wirksame Beleuchtung – Planungsempfehlungen*. [p. 11].
- [66] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). (2016). *DGUV Information 215-210, 14-17 & 27*. [p. 10 ff., 19 f.].
- [67] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). (2011). *Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A3.4*. [p. 7, 83].

MENTIONS

Contact:

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Abt. Biomechatronische Systeme
Nobelstr. 12
70569 Stuttgart
www.ipa.fraunhofer.de

Urban Daub
N° de téléphone : +49 711 970 – 3645
urban.daub@ipa.fraunhofer.de

Auteurs: Urban Daub, Sarah Gawlick, Florian Blab

Février 2018
DOI: 10.24406/IPA-N-481686

Licencié sous CC-BY-NC 4.0
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.de>

Croquis: Michael Brück, Jérémy Lefint; © Fraunhofer IPA
Étude réalisée pour le compte d'Ergoswiss AG



